

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**GEOTECNOLOGIAS NA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS
À RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO
LAVAPÉS, BOTUCATU-SP**

JULIANO BOECK SANTOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP
Janeiro – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**GEOTECNOLOGIAS NA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS
À RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO
LAVAPÉS, BOTUCATU-SP**

JULIANO BOECK SANTOS
- Tecnólogo em Informática -

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Célia Regina Lopes Zimback

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU – SP

Janeiro – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Santos, Juliano Boeck, 1977-
S237v Geotecnologias na delimitação de áreas prioritárias à
recomposição florestal na sub-bacia do Ribeirão Lavapés,
Botucatu-SP / Juliano Boeck Santos. - Botucatu : [s.n.],
2013
ix, 70 f. : il. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013
Orientador: Célia Regina Lopes Simback
Inclui bibliografia

1. Geoprocessamento. 2. Sensoriamento remoto. 3. Mata
ciliar. 4. Manejo conservacionista. 5. Ciclo hidrológico.
I. Simback, Célia Regina Lopes. II. Universidade Estadual
Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu).
Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

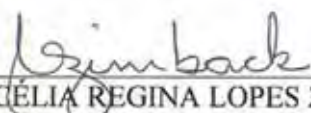
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "GEOTECNOLOGIAS NA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS
À RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO
LAVAPÉS, BOTUCATU-SP"

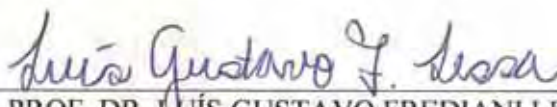
ALUNO: JULIANO BOECK SANTOS

ORIENTADOR: PROFª DRª CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

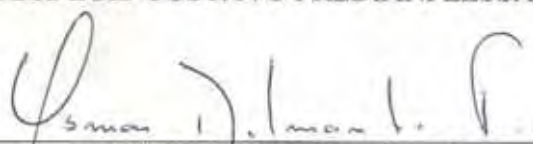
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROFª DRª CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK



PROF. DR. LUÍS GUSTAVO FREDIANI LESSA



PROF. DR. OSMAR DELMANTO JÚNIOR

O anjo mais velho

O dia mente a cor da noite
E o diamante a cor dos olhos
Os olhos mentem dia e noite a dor da gente"

Enquanto houver você do outro lado
Aqui do outro eu consigo me orientar
A cena repete a cena se inverte
Enchendo a minha alma daquilo que outrora eu deixei de acreditar

Tua palavra, tua história
Tua verdade fazendo escola
E tua ausência fazendo silêncio em todo lugar

Metade de mim
Agora é assim
De um lado a poesia o verbo a saudade
Do outro a luta, a força e a coragem pra chegar no fim
E o fim é belo incerto... depende de como você vê
O novo, o credo, a fé que você deposita em você e só

Só enquanto eu respirar
Vou me lembrar de você
Só enquanto eu respirar..

Enquanto houver você do outro lado
Aqui do outro eu consigo me orientar
A cena repete a cena se inverte
Enchendo a minha alma d'aquilo que outrora eu deixei de acreditar

Tua palavra, tua história
Tua verdade fazendo escola
E tua ausência fazendo silêncio em todo lugar

Metade de mim
Agora é assim
De um lado a poesia o verbo a saudade
Do outro a luta, a força e a coragem pra chegar no fim
E o fim é belo incerto... depende de como você vê
O novo, o credo, a fé que você deposita em você e só

Só enquanto eu respirar
Vou me lembrar de você
Só enquanto eu respirar..

Metade de mim
Agora é assim
De um lado a poesia o verbo a saudade
Do outro a luta, a força e a coragem pra chegar no fim
E o fim é belo incerto... depende de como você vê
O novo, o credo, a fé que você deposita em você e só

Só enquanto eu respirar
Vou me lembrar de você
Só enquanto eu respirar..

DEDICATÓRIA

Ao meu querido pai **Celso** (*in memoriam*) pela dedicação e carinho, e infelizmente por não poder viver este momento de minha felicidade.

À minha querida mãe **Vera Lucia**, pelo amor, carinho, dedicação e incentivo durante todo tempo dessa formação.

Aos meus irmãos **Luciano, Fabiano e Miriam**, ao meu cunhado **Luciano** e aos meus sobrinhos **Lucianinho e Enzo**, que me incentivaram e apoiaram mesmo distantes.

À minha namorada, **Larissa**, pelo carinho, apoio e compreensão. Te amo!

Hoje eu preciso tomar um café, ouvindo você suspirar

Me dizendo que eu sou causador da tua insônia

Que eu faço tudo errado sempre

Hoje preciso de você

Com qualquer humor, com qualquer sorriso

Hoje só tua presença

Vai me deixar feliz

Só hoje

(Jota Quest)

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível.

A minha orientadora **Prof^a Dr^a Célia Regina Lopes Zimback**, pela orientação, confiança em mim depositada e pela amizade consolidada nestes anos de convivência.

Ao Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas (GEPAG), em especial a Ana Paula, Anderson, Diego, Fábio, Francienne, Indiamara, José Carlos, Luís Gustavo, Maria Jorgiana, Paula, Ramon, Rodrigo e Prof. Sérgio, pela amizade, apoio, companheirismo, momentos de descontração e pela ajuda para a realização deste trabalho. Mais uma vez o meu **MUITO OBRIGADO!**

Aos meus queridos amigos, Camila, Gustavo (Babito), Henrique, Jossimara, Larissa (Japas Creusa) e Layla por todos os momentos que passamos juntos, pela força e pela torcida para que tudo desse certo. A amizade de vocês é muito importante pra mim.

**Amigo é coisa para se guardar
No lado esquerdo do peito
Mesmo que o tempo e a distância digam "não"
Mesmo esquecendo a canção
O que importa é ouvir
A voz que vem do coração
Pois seja o que vier, venha o que vier
Qualquer dia, amigo, eu volto
A te encontrar
Qualquer dia, amigo, a gente vai se encontrar.
(Milton Nascimento)**

À todas as pessoas, que de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP, pela oportunidade de realizar este projeto.

Ao curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem pelo excelente curso, conceituado corpo docente e por ter confiado a mim a oportunidade de tornar-me mestre.

Ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais e funcionários, por disponibilizar o Laboratório de Geoprocessamento e pela atenção dada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura geral de um SIG.	13
Figura 2. Representação de dados nos formatos matricial e vetorial.	14
Figura 3. Superfície representada no espaço tridimensional XYZ.	18
Figura 4. Exemplo de malha triangular.	21
Figura 5. Evolução da Área Variável de Afluência no processo de geração do escoamento por saturação durante uma chuva.	23
Figura 6. Bloco diagrama da geração de escoamento na vertente.	25
Figura 7. Processos de escoamento e principais condicionantes.	26
Figura 8. Localização da sub-bacia do Ribeirão Lavapés em Botucatu-SP.	28
Figura 9. Mapa da rede de drenagem da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, no ano de 1978. Em destaque o Ribeirão Lavapés.	39
Figura 10. Mapa da rede de drenagem da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, no ano de 2005. Em destaque o Ribeirão Lavapés.	40
Figura 11. Mapa de cobertura do solo da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, no município de Botucatu-SP.	42
Figura 12. Mapa que representa a zona de APP e a rede hidrográfica gerado a partir da interpretação visual de uma imagem orbital LANDSAT 5, do ano de 2010, na sub-bacia do Ribeirão Lavapés.	45
Figura 13. Mapa do Modelo Numérico de Elevação da sub-bacia do Ribeirão Lavapés.	47
Figura 14. Classes de declividade da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).	49
Figura 15. Espacialização das Áreas Variáveis de Afluência na sub-bacia do Ribeirão Lavapés.	51
Figura 16. Normatização da Área Variável de Afluência em escala de 0 a 255 com valores de importância em ordem crescente para a sub-bacia do Ribeirão Lavapés.	53
Figura 17. Classes de Área Variável de Afluência na sub-bacia do Ribeirão Lavapés.	55
Figura 18. Mapa de localização das áreas destinadas e em conflitos de APPs, em relação à cobertura do solo.	58

Figura 19. Mapa de identificação das áreas prioritárias para a recomposição da APP. 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais índices topográficos primários (ITP).....	20
Tabela 2. Cartas planialtimétricas utilizadas para o estudo da área.....	33
Tabela 3. Classes de cobertura do solo na sub-bacia do Ribeirão Lavapés, no ano de 2010.....	43
Tabela 4. Classes de declividade da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006)	50
Tabela 5. Classes de Áreas Variáveis de Afluência na sub-bacia do Ribeirão Lavapés.....	54
Tabela 6. Quantificação da área correta e de conflito em APPs na sub-bacia do Ribeirão Lavapés.....	57
Tabela 7. Quantificação das áreas em que ocorrem APP nas áreas de AVA na sub-bacia do Ribeirão Lavapés.....	61

SUMÁRIO

RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO	4
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 Bacia Hidrográfica.....	7
2.2 Geotecnologias Aplicadas	9
2.2.1 Geoprocessamento	9
2.2.2 Sensoriamento Remoto.....	10
2.2.3 Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	11
2.3 Modelagem Hidrológica	15
2.3.1 Modelo TauDEM	16
2.3.2 Modelo Numérico de Elevação (MNE).....	17
2.4 Área Variável de Afluência.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Área de estudo	27
3.1.1 Localização	27
3.1.2 Clima	29
3.1.3 Hidrografia.....	30
3.1.4 Relevo.....	30
3.1.5 Geologia	31
3.1.6 Solos	32
3.2 Material	32
3.2.1 Material cartográfico	32
3.2.2 Imagens orbitais na discriminação da cobertura do solo.....	33
3.2.3 Fotografias Aéreas	34
3.2.4 Programas	34
3.3 Métodos.....	34
3.3.1 Planos de informação	34
3.3.1.1 Hidrografia	34
3.3.1.2 Cobertura do solo e Mata Ciliar	35

3.3.1.3 Área de preservação permanente de acordo com o Código Florestal.....	35
3.3.1.4 Curvas Topográficas e Modelo Numérico de Elevação (MNE)	36
3.3.1.5 Declividade.....	37
3.3.1.6 Definição de Áreas Variáveis de Afluência (AVA)	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 Rede de Drenagem.....	38
4.2 Cobertura do solo	41
4.3 Área de Preservação Permanente de acordo com o Código Florestal	43
4.4 Modelo Numérico de Elevação (MNE).....	46
4.5 Declividade	48
4.6 Área Variável de Afluência (AVA).....	50
4.7 Áreas de Conflitos	56
5 CONCLUSÕES	62
6 REFERÊNCIAS.....	63

RESUMO

A priorização de áreas significativas no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica é fundamental tanto para a recuperação da vegetação de Áreas de Proteção Permanente (APP), como para o uso sustentável por meio das práticas de manejo conservacionistas e para as compensações florestais. O objetivo do estudo foi construir um banco de dados digital do meio físico, bem como desenvolver uma metodologia para a definição das áreas hidrologicamente prioritárias da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, localizada na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, com uma área de 11.154,58 ha. Para isso foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento, como o sensoriamento remoto, a Análise de Terreno usando Modelos Digitais de Elevação (TauDEM) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os resultados apresentaram uma redução de 20 % na rede de drenagem da bacia num período de 27 anos. As classes predominantes de cobertura do solo foram a zona urbana no Reverso da Cuesta, com 4.394,27 ha (39,39 %), bem como as culturas anuais na Depressão Periférica, com 3.670,89 ha (32,91 %). A área mapeada destinada as APPs foi equivalente a 1.721,80 ha (15,44 %) da área total da bacia, apresentando ausência da vegetação nativa ciliar em 1.189,65 ha (69,09 %). As ferramentas utilizadas foram eficientes no campo da gestão ambiental proporcionando maior agilidade na tomada de decisões em áreas de conflitos, não apenas na área rural, como também

nas áreas de expansão urbana. Em relação às Áreas Variáveis de Afluência (AVA) pode-se concluir que as mesmas não estão ocupadas corretamente com mata ciliar, pois dos 1.721,80 ha de APP, 1.022,24 ha são ocupados por vegetação que não ocorre nas áreas ripárias e 167,41 ha são áreas prioritárias que necessitam de recomposição.

Palavras chave: ciclo hidrológico, manejo conservacionista, área variável de afluência, área de preservação permanente, sensoriamento remoto, geoprocessamento, mata ciliar.

GEOTECHNOLOGY AND HYDROLOGIC MODELING IN THE LIMITS OF PRIORITY AREAS IN RECOMPOSITION FOREST IN SUB-BASIN OF RIBEIRÃO LAVAPÉS, BOTUCATU-SP

Author: JULIANO BOECK SANTOS

Adviser: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

SUMMARY

The prioritization of significant areas in the hydrologic cycle of a watershed is essential for the vegetation recovery of Permanent Protection Areas (PPA), for the sustainable use through conservationist management practices and forestry offsets. The aim of the study was to build a digital database of the physical environment, as well to develop a methodology for defining the priority areas of Ribeirão Lavapés sub basin, located in Midwest of São Paulo state, with an area of 11.154,58 ha. For this we used geoprocessing tools, such as remote sensing, the Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM) and Geographic Information System (GIS). The results showed a 20 % reduction in the drainage network of watershed in a period of 27 years. The predominant classes of land cover were the urban area of Reverse Cuesta, with 4.394,27 ha (39.39 %), as well the annual crops in the Peripheral Depression, with 3.670,89 ha (32.91 %). The mapped area destined PPAs was equivalent to 1721.80 ha (15.44%) of the total watershed area, showing absence of native riparian vegetation in 69.09 % (1.189,65 ha). The tools used were efficient in the field of environmental management providing greater agility in decision making in conflict areas, not only in rural, but also in urban expansion areas. Regarding Variables Affluence Areas (VAA) we can conclude that they aren't properly occupied with riparian vegetation, because of 1721.80 ha PPA area, 1022.24 ha are occupied by vegetation that doesn't occur in riparian areas and 167,41 ha are priority areas that need recomposition.

Key words: hydrologic cycle, conservation management, variable area of affluence, permanent preservation area, remote sensing, geoprocessing, riparian forest.

1 INTRODUÇÃO

A ocupação da superfície terrestre mostra-se de forma pouco planejada, cujo resultado é visto na má preservação dos recursos naturais, um dos problemas mais cruciais do planeta. Diante do grande avanço da expansão demográfica e agrícola é eminente a necessidade de aumentar a produção de alimentos devido à crescente demanda.

A água por ser um elemento essencial da vida é e será, cada vez mais, o bem mais valioso no planeta, sendo indispensáveis suas formas de utilização ao bem estar e desenvolvimento da humanidade.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), o uso da água para a irrigação no Brasil corresponde 46% do uso deste recurso no país.

Resoluções e diretrizes do Código Florestal Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965, determinam Áreas de Preservação Permanente (APP) para redes hidrográficas e para áreas com declividades maiores que 45 %.

Áreas com vegetação natural, que possuíam grande capacidade de infiltração de água, encontram-se impermeabilizadas por estarem ocupadas por áreas urbanas

ou cultivos agrícolas intensivos e com sinais de erosão acelerada, o que comprova o manejo inadequado dos solos.

Uma análise da condição real dos recursos que se encontram em um dado espaço geográfico passa a ser uma ferramenta indispensável em um trabalho de planejamento ambiental. Dentre as metodologias, as Bacias Hidrográficas como unidades de estudo destacam-se pela eficiência no diagnóstico ambiental.

Pelo fato do Ribeirão Lavapés apresentar suas nascentes principais e seus afluentes dentro da área urbana do município de Botucatu, onde percorre uma grande extensão até sua foz no Rio Tietê e por sofrer importantes transformações territoriais, com a expansão urbana próxima a cabeceira da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, é de fundamental importância o seu monitoramento, mapeamento e planejamento ambiental.

Para realização deste controle, dada a extensão territorial da bacia hidrográfica, torna-se necessário a utilização de ferramentas que utilizam a tecnologia de geoprocessamento, proporcionando um controle adequado, com práticas tecnicamente recomendadas em função da capacidade do uso do solo, agilizando e facilitando a tomada de decisão pelos responsáveis pelo monitoramento ambiental.

O objetivo geral deste trabalho foi construir um banco de dados digital do meio físico e desenvolver uma metodologia para a definição das áreas hidrologicamente prioritárias a recomposição na sub-bacia do Ribeirão Lavapés, visando à priorização destas áreas em planos de recuperação de vegetação de áreas de proteção permanente, compensações florestais ou uso sustentado por meio de práticas de manejo conservacionistas.

Os objetivos específicos foram:

- mapear e atualizar a rede hidrológica da sub-bacia do Ribeirão Lavapés;
- mapear as Áreas de Preservação Permanente (APP) e outros fragmentos florestais;
- identificar o uso e cobertura do solo da bacia, por meio de técnicas de sensoriamento remoto;
- pesquisar modelos matemáticos que identifiquem fragilidade ambiental através de Áreas Variáveis de Afluência (AVA);

- delimitar áreas de prioridade à recomposição de Áreas de Preservação Permanente (APP) na bacia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacia Hidrográfica

A Organização das Nações Unidas – ONU (1992) define a água como um bem essencial à vida. A água durante a história da humanidade mostra que a sua presença determinou e ainda determina o rumo das civilizações. É fundamental no processo de desenvolvimento da sociedade e foi manejada no decorrer das gerações por diversas formas e meios desde o período Neolítico, nas regiões de China e Oriente Médio (crescente fértil), a aproximadamente 9.000 a 7.000 anos a.C. (FORJAZ, 2007).

Bacia hidrográfica é constituída por uma área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus afluentes, onde sua delimitação é dada pelas linhas divisoras de água. Estas linhas são definidas pela acomodação das curvas de nível que ligam os pontos mais elevados da região em torno da rede de drenagem (CORSEUIL, 2006). Os fenômenos que ocorrem dentro de uma bacia, seja de origem natural ou antrópica, interferem na dinâmica sistêmica, na quantidade e qualidade dos cursos de água e nas medidas de

algumas variáveis (clima, relevo, vegetação, solo, entre outras) admitindo compreender a soma desses fenômenos (SANTOS, 2004).

Esses aspectos induzem os planejadores a escolherem a bacia hidrográfica como uma unidade de gestão, por ser um sistema natural bem delimitado no espaço, onde suas interações físicas são integradas e assim sendo, fáceis de serem compreendidas, tornando-se capaz de refletir as relações de causa e efeito. Utilizando a bacia hidrográfica como unidade de trabalho, o planejamento torna-se mais adequado e permite conciliar a produção com a preservação ambiental, devido os seus limites serem estabelecidos naturalmente, por meio do divisor de águas (CORSEUIL, 2006).

Grossi (2003) destacou que a própria legislação referencia a bacia hidrográfica como área de afluência a partir da Resolução de nº 001/86 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 1981, onde a unidade passa a ser considerada como área de análise no estudo prévio de impacto ambiental. Na Legislação do Estado de São Paulo, o Decreto n.º 36.787, de 18 de maio de 1993, que regulamenta a Lei n.º 7.663, discrimina grupos de bacias hidrográficas e esta divisão hidrográfica é aprovada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CRH (SÃO PAULO, 1994).

A Lei 9.433/97 (Lei das Águas) estabelece os princípios básicos para a gestão dos recursos hídricos e adota a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. O manejo das bacias hidrográficas visa à produção de água em quantidade e qualidade, onde sua quantidade denote sua boa distribuição no tempo, ou seja, a bacia precisa absorver uma grande parte das águas precipitadas, possa armazenar em seu lençol freático e gradativamente disponibilizar novamente aos cursos d'água, garantindo assim a perenidade e sua boa quantidade, mesmo em períodos de estiagem (NAGY, 2008).

Do ponto de vista dos recursos hídricos subterrâneos, os solos desempenham funções de filtro de depuração natural das águas de percolação vertical e de reguladora das vazões/perenidade dos cursos d'água superficiais dos aquíferos (GASPAR et al., 2007).

No processo de interceptação da água da chuva, a cobertura florestal forma um sistema de amortecimento, direcionamento e retenção das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica de escoamento e o processo de infiltração (BALBINOT et al., 2008).

A floresta nativa, conforme vários pesquisadores, é o ecossistema vegetal que mais atua expressivamente no ciclo hidrológico, pois proporciona melhores condições de infiltração de água da chuva (OLIVEIRA JUNIOR; DIAS, 2005).

O recurso hídrico como um elemento essencial ao ecossistema recentemente assume para a sociedade sua importância econômica, uma vez que todas as atividades produtivas agrícolas, industriais ou na produção de energia elétrica, carecem de água (FORJAZ, 2007).

Christofoletti (1999) mostrou que se costuma considerar como pequenas bacias aquelas com área inferior a 100 km², como médias as com áreas entre 100 e 1000 km² e como grandes, as maiores que 1000 km².

Por meio da integração de dados em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), o planejamento de manejo e conservação do solo e água de uma microbacia podem ser realizado de maneira mais rápida e precisa (ASSAD et al., 1998).

2.2 Geotecnologias Aplicadas

2.2.1 Geoprocessamento

Nos últimos anos, o geoprocessamento tem tornou-se uma ferramenta indispensável para execução de projetos ligados à área de meio ambiente. As grandes extensões de áreas que abrangem estes projetos fazem uso do geoprocessamento, um principal elemento para o manuseio das grandes bases de dados envolvidos; sejam de caráter espacial ou não (PETERSEN *et al.* 1995). O geoprocessamento também permite o tratamento de dados, originando informações e viabilizando soluções por meio de modelagem e simulações de cenários (ROCHA; LAMPARELLI, 1998).

Segundo Mendes e Cirilo (2001), a definição conceitual de geoprocessamento é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma geral, características e relações importantes, através de dados espaciais. O geoprocessamento, tecnologia aplicada no Sistema de Informação Geográfica (SIG), pode ser definido como o conjunto de técnicas e metodologias que implicam na aquisição, arquivamento, processamento e representação de dados georreferenciados. Um dado

georreferenciado é aquele que possui coordenada geográfica (latitude e longitude). Sendo seu objetivo principal, fornecer ferramentas computacionais para que sejam determinadas as evoluções temporais e espaciais de um fenômeno geográfico (RODRIGUES, 1990; CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Moreira (2007) ressaltou que o processamento de dados digitais passou a serem mais abrangentes no final da década de 80, em consequência da associação de informações geocodificadas aos dados de satélite, para realização de análises mais complexas por meio da manipulação de dados de diversas fontes e da criação de um banco de dados georreferenciado.

Segundo Marble (1984), o armazenamento, análise e apresentação de grandes volumes de dados sobre o determinado espaço geográfico, tornaram indispensável o desenvolvimento de ambientes informatizados que incorporassem mapas digitais às informações sobre os elementos do mapa. Esta operação envolve tecnologia de informática, banco de dados e cartografia digital, no entanto, transcende a ambas. As aplicações e usos do SIG dependem da existência de um sistema eficiente e lógico, que possa modificar e unificar elementos cartográficos à banco de dados

Em uma bacia hidrográfica são enfrentados problemas de natureza complexas que necessitam de ação integrada para resolver. Não basta apenas realizar intervenções localizadas. Elas tem que ser o resultado de uma visão macro, que analise toda a bacia e os impactos à montante e à jusante (DAEE, 2008).

2.2.2 Sensoriamento Remoto

A *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) define formalmente que o sensoriamento remoto é a medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno em estudo (JENSEN, 2009).

Sabins (2000) definiu sensoriamento remoto como uma técnica de obtenção de dados sobre um objeto sem que haja contato físico direto entre o sensor e o alvo, por meio de radiações eletromagnéticas.

A radiação eletromagnética interage com os alvos da superfície terrestre podendo ser absorvida, refletida, transmitida e emitida por eles seletivamente. Para medir a radiação eletromagnética ou solar é necessária a utilização de equipamentos em sensoriamento remoto como os radiômetros ou sensores, que podem ser colocados no solo, aeronaves ou satélites (MOREIRA, 2007).

Esta técnica é largamente empregada na coleta de dados geográficos em estudos ambientais (BROWN et al., 2000; CASIMIRO, 2004) e segundo Quattrochi e Pelletier (1991) a evolução tecnológica dos sensores a tornou uma ferramenta indispensável nas diferentes aplicações da Ecologia da Paisagem.

O uso dos recursos hídricos na agricultura na África do Sul é controlado pelo Departamento de Água e Floresta – DWAF, onde utiliza um sistema espacial de suporte à decisão, o Water Authorization and Resource Management System- WARMS. Em razão da utilização de técnicas de sensoriamento remoto voltado à aquisição de informações necessárias sobre usos agrícolas da água, este sistema destaca o sensoriamento remoto como um dos principais métodos para a obtenção de informações sobre o uso dos recursos hídricos na agricultura (JENSEN, 2009).

Liu (2006) ressaltou que o monitoramento das águas subterrâneas é complexo, pois os satélites não podem retratar estas águas. Suas aplicações só podem ser feitas através de interpretação dos dados que gravam fenômenos da superfície.

2.2.3 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

As ferramentas utilizadas para o geoprocessamento compõe-se de um conjunto denominado de Sistema de Informação Geográfica, também conhecido de GIS, do inglês *Geographic Information System* (MOREIRA, 2001). Um SIG está incluso no ambiente tecnológico denominado geoprocessamento e tem por definição ser um conjunto de técnicas relacionadas com coleta, armazenamento e tratamento de dados espaciais e georreferenciadas para que possam ser utilizadas no espaço físico geográfico (CÂMARA, 1996). Burrough (1998) definiu como um conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos.

Segundo Câmara (1995), o termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado a sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos.

Para o planejamento de um mapeamento, o SIG deverá ter por objetivos adquirir, armazenar, manusear, analisar e recuperar informações codificadas espacialmente, integrando em uma base de dados única informações espaciais de várias fontes de dados, como: mapas analógicos, fotografias aéreas, imagens de satélite e dados obtidos de análise de campo (CASTRO, 1996; EASTMAN, 2006).

O SIG sistematiza dados georreferenciados que permitem um planejamento e monitoramento de assuntos ligados ao espaço físico geográfico por meio dos produtos gerados pelo sistema, os quais são arquivos digitais incluindo mapas, tabelas, gráficos e relatórios, objetivando a localização, assim sendo, estão relacionadas a uma posição específica do globo terrestre por meio de suas coordenadas (CÂMARA, 1996).

Moreira (2001) citou de forma abrangente que os principais componentes independentes de um SIG são cinco e estão interligados uns aos outros por funções específicas. Tais componentes são: entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem e banco de dados geográficos.

A estrutura geral de um SIG esta ilustrada na Figura 1, segundo Câmara e Medeiros (1998).

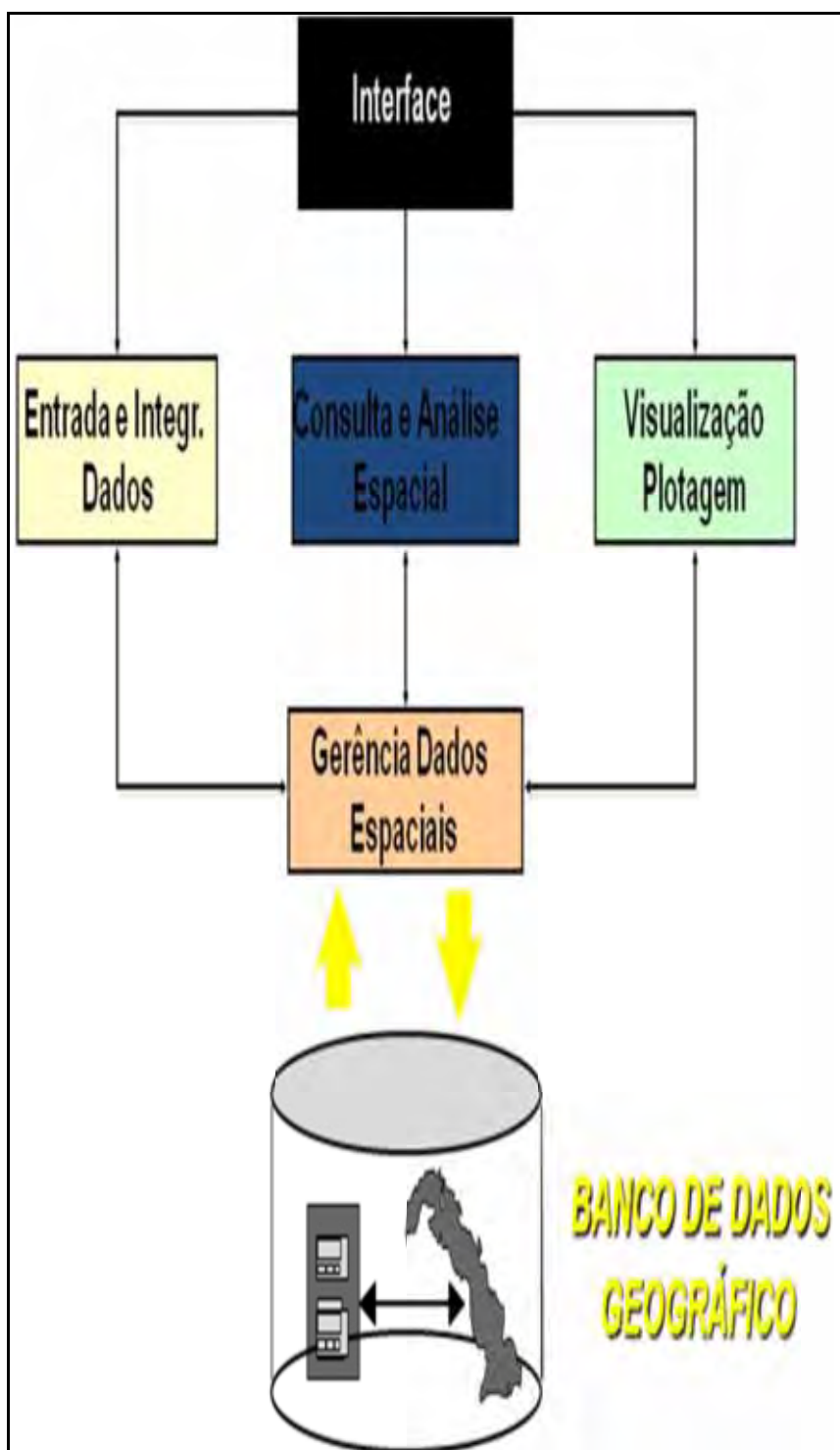


Figura 1. Estrutura geral de um SIG.

Fonte: adaptada de Câmara e Medeiros (1998).

É importante ressaltar que um SIG pode armazenar dois diferentes tipos de dados encontrados em um mapa. De acordo com Teixeira et al. (1992), a estrutura de representação de dados espaciais geométricos pode ser subdividida em raster (ou matricial) e vetorial. A diferença básica entre as duas está no modelo de espaço adotado por elas. A estrutura vetorial considera um espaço geográfico contínuo, enquanto que a raster divide o espaço em elementos discretos, obtidos pela sua partição em uma malha com linhas verticais e horizontais espaçadas regularmente, formando células, chamadas *pixels*, como mostra a Figura 2.

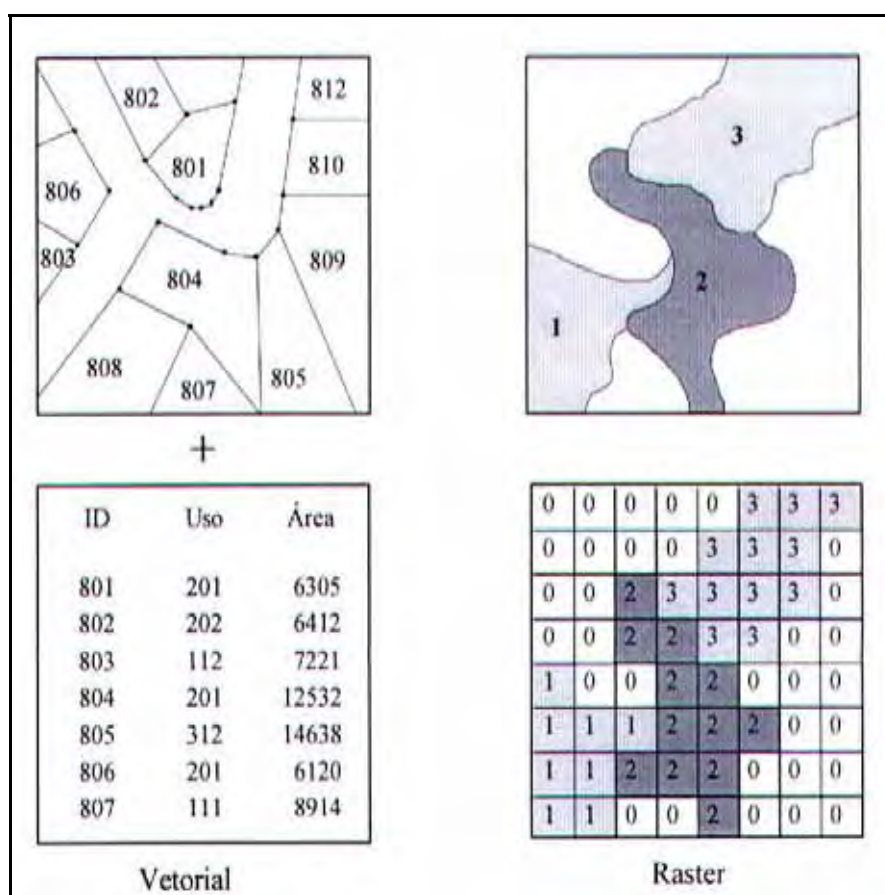


Figura 2. Representação de dados nos formatos matricial e vetorial.

Fonte: Eastman (2006).

Assad et al. (1998) comprovaram por meio de seus estudos o grande potencial de SIGs na integração de dados geocodificados, onde a utilização do sistema em pequenas áreas apresenta como principais vantagens a elevada precisão do produto final e a economia de tempo em relação aos tradicionais métodos de análise.

Devido os SIGs serem caracterizados por juntar todas as informações disponíveis a um sistema de referências espaciais (georreferenciado) onde é utilizado para armazenamento e acesso às informações, o uso destas diversas tecnologias e diversos conjuntos de funções, deve ser visto mais como um processo, do que simplesmente um software ou hardware (SILVA et al., 2004).

2.3 Modelagem Hidrológica

Primeiramente, as pesquisas em desenvolvimento de modelos hidrológicos eram focalizadas no estudo de componentes do ciclo hidrológico de forma separada (SINGH; FREVERT, 2002). Destacando-se as teorias de Horton em 1933, de infiltração da água no solo; Penman em 1948, da evaporação; os conceitos de hidrograma unitário de Sherman, em 1932; ou mesmo, as equações de Saint Venant, que descrevem o escoamento em rios. Foi possível integrar todos os componentes do ciclo hidrológico e simular a bacia hidrográfica como um todo a partir da invenção e disseminação de computadores.

Segundo Mendes e Cirilo (2001), o modelo é uma representação ou abstração da realidade. Definitivamente, é mais simples que o mundo real, porém representa algumas de suas características importantes. Um modelo hidrológico busca representar o comportamento da bacia hidrográfica, que é um sistema acionado por um estímulo, a precipitação, e através de diversos fenômenos do ciclo hidrológico, a bacia transforma a precipitação em vazão (XAVIER, 2007).

Objetos de vários estudos ambientais, as bacias hidrográficas, são definidas por diversos autores como Browner (1996), Environmental Protection Agency (EPA) (1996), Guerra (1999), Guerra e Cunha (2002), Cooke e Doornkamp (1990) e Morgan (1986), Kersten et al. (1997) e Ward e Elliot (1995), que segundo estes, podem ser caracterizadas como sistemas que retêm e vertem suas águas sobre canais de escoamento e desembocam em uma única saída.

Tucci (1998) destacou algumas definições importantes para melhor compreensão do sistema e do modelo que o representa:

- Fenômeno é um processo físico que produz alguma alteração de estado no sistema, como por exemplo, a precipitação, a evaporação ou a infiltração;

- Variável é um valor que descreve quantitativamente um fenômeno, variando no espaço e no tempo, como por exemplo, a precipitação diária ou a vazão horária;
- Parâmetro é um valor que caracteriza o sistema, tal como a área da bacia hidrográfica ou a rugosidade da seção transversal de um rio. O parâmetro também pode variar com o espaço e o tempo.

Ainda segundo o autor, estas definições apresentam grande variabilidade espacial e temporal em uma bacia hidrográfica. Os modelos matemáticos utilizados em hidrologia abordam a variabilidade temporal, sendo assim o uso de ferramentas de geoprocessamento na modelagem para melhor simular a variabilidade espacial pode resultar em vantagens.

2.3.1 Modelo TauDEM

O programa TauDEM versão 5 (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) desenvolvido por David Tarboton na Utah State University (USA) para o SIG ArcGIS, foi utilizado para o cálculo do índice topográfico.

O TauDEM é um programa livre que pode ser adquirido por meio de *download* diretamente no site da Utah State University, onde todas as explicações e procedimentos para que ele seja utilizado estão disponíveis no tutorial que acompanha o programa (TARBOTON, 2002).

O TauDEM utiliza o índice topográfico que representa índices de similaridade hidrológica em uma bacia hidrográfica (XAVIER, 2007) e é representado pela fórmula:

$$ln = a / \tan \beta \quad (2)$$

onde: ln é logaritmo natural, a área de contribuição específica e $\tan \beta$ a declividade do terreno, foi calculada a AVA na área de estudo.

Quinn et al. (1991) propõe o modelo hidrológico como fator para refletir a tendência da acumulação da água em pontos da bacia hidrográfica, sendo expressos pela área de contribuição específica (a) e mostrando as forças gravitacionais que movem a água morro abaixo.

2.3.2 Modelo Numérico de Elevação (MNE)

De acordo com Sorensen et al. (2005), a topografia é o controle de primeira ordem na variação espacial das condições hidrológicas. Xavier (2007) descreveu que modelos digitais de terreno (MDT) ou modelos numéricos de elevação (MNE) estão disponíveis em vários países desenvolvidos do mundo em alta resolução para representar amplamente a forma da topografia.

O Modelo Numérico de Elevação (MNE) é utilizado para modelagem de informações de altimetria ou propriedades do solo, sendo importante, dentre outros fatores, para análises da superfície e subsuperfície do terreno.

Este modelo é uma representação matemática computacional de uma seção da superfície terrestre. A posição espacial sobre a superfície é representada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de atributo ao fenômeno é representado pelo eixo z, correspondente à elevação (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2000), ilustrada na Figura 3.

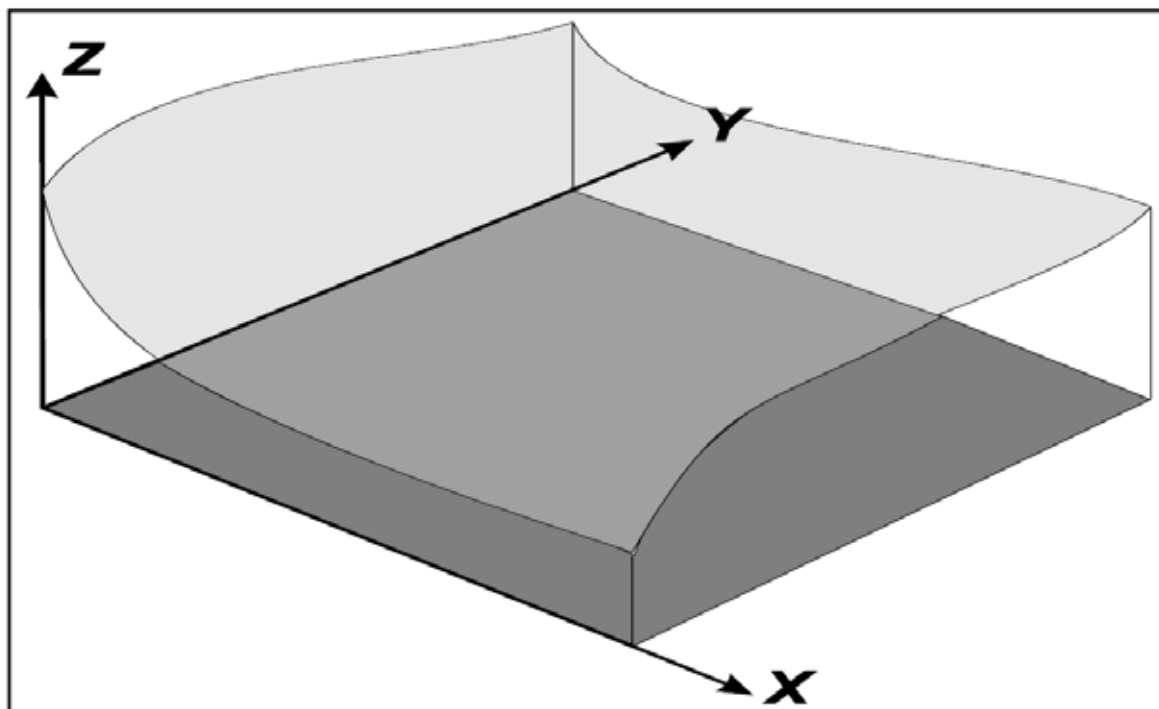


Figura 3. Superfície representada no espaço tridimensional XYZ.

Fonte: (INPE, 2000)

De acordo com Sousa et al. (2012), a geração de um MNE envolve duas etapas: aquisição das amostras ou amostragem e geração do modelo propriamente dito ou interpolação. O modelo, uma vez gerado, proporciona a utilização para inúmeras aplicações, tais como: representação de dados referentes ao relevo, à geologia, à meteorologia, bem como, dados geofísicos e geoquímicos.

Os arquivos digitais são as fontes mais comuns de amostras de modelos digitais de terrenos podendo ser importados de outros sistemas: bases topográficas com isolinhas e pontos notáveis de máximos e mínimos e; levantamentos em campo modificados, de alguma maneira, para que seja disponibilizados a informação em formato digital. Um conjunto de amostras pode ser obtido, também, a partir de pares estéreos de imagens de sensoriamento remoto, imagem de radar e dados de scanners Laser (INPE, 2000).

Segundo Wilson e Gallant (2000), atualmente é possível analisar dados de elevação do terreno de uma forma rápida e eficiente devido ao avanço na qualidade e na disponibilidade dos MNE. Para quantificar o controle da topografia sobre processos físicos

uma das metodologias é a utilização de índices topográficos que caracterizam atributos simples e complexos do terreno.

De acordo com Moore et al. (1991), podem ser divididos os índices topográficos (IT) em primários e secundários. Os índices topográficos primários (ITP) são calculados diretamente do MNE e suas características básicas são representadas, por exemplo, pela declividade, seu aspecto e sua área acumulada; enquanto os índices topográficos secundários (ITS) são calculados por meio de uma combinação de dois ou mais índices primários, onde representam características mais complexas como a umidade do solo ou seu potencial erosivo.

Eles são requeridos nos modelos ambientais como informação indispensável para inúmeros procedimentos de cálculo, por exemplo, o uso do aspecto para o cálculo do balanço de energia, ou para representar processos de difícil medição, por exemplo, o uso da declividade e da área acumulada para determinar as zonas de saturação de água na paisagem (RICHERSON; LUN, 1980; QUINN et al., 1995).

Moore et al. (1991) apresentou os principais ITPs provenientes do MNE utilizados na modelagem matemática de inúmeros processos com aplicação no planejamento agrícola e ambiental na Tabela 1.

Segundo (MOORE et al., 1991) a declividade e o aspecto do terreno são ITP amplamente utilizados, onde eles exercem influência sobre o fluxo da água, processo erosivo, sombreamento, energia solar recebida, reflectância da superfície, temperatura, entre outras variáveis. Mendes e Cirilo (2001), definiram a declividade do terreno como a taxa de diminuição da altura na direção do aspecto, e o aspecto corresponde à direção de máximo gradiente.

Tabela 1. Principais índices topográficos primários (ITP)

Atributo	Definição	Aplicação
Altitude	Elevação	Clima; Tipo de vegetação; Energia potencial
Altura a montante	Altura média da área a montante	Energia potencial
Aspecto	Direção do gradiente	Direção de fluxo; Irradiação solar
Declividade	Gradiente	Volume e velocidade do escoamento
Declividade a montante	Declividade média de uma área a montante de um ponto	Velocidade do escoamento
Declividade da bacia	Declividade média de uma bacia	Tempo de concentração
Área da bacia	Área de drenagem no exutório da bacia	Velocidade do escoamento
Área de contribuição específica	Área a montante dividida por unidade de contorno	Velocidade do escoamento; Taxa de escoamento superficial
Comprimento de fluxo	Distância máxima do escoamento para um ponto	Erosão; Produção de sedimentos; Tempo de concentração
Comprimento a montante	Comprimento médio dos comprimentos de fluxos para um ponto na bacia	Aceleração do escoamento; Taxas de erosão
Comprimento de dispersão	Distância de um ponto até o enxutório da bacia	Impedância à drenagem do solo
Comprimento da bacia	Distância do ponto mais alto até o enxutório da bacia	Atenuação do escoamento superficial
Curvatura no perfil	Curvatura do perfil de declividade	Aceleração do escoamento; Taxas de erosão e deposição
Curvatura no plano	Curvatura do contorno	Fluxo divergente ou convergente; Conteúdo de água no solo
Curvatura tangencial	Curvatura do plano multiplicada pela declividade	Fluxo divergente e convergente local

Fonte: Adaptado de Moore et al. (1991).

A determinação dos valores entre as curvas de nível e possível através da interpolação dos dados. A Modelagem Triangular Irregular Network (TIN) é a estrutura mais comum utilizada para modelagem de superfícies contínuas usando dados vetoriais (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2000), ilustrada na Figura 4.

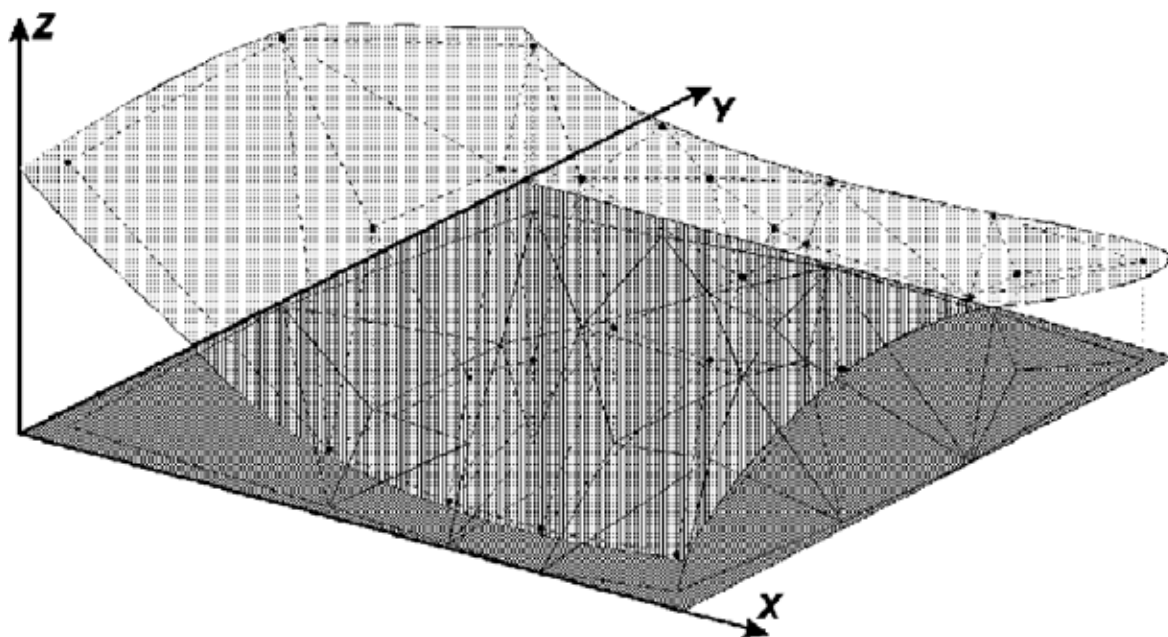


Figura 4. Exemplo de malha triangular.
Fonte: (INPE, 2000)

2.4 Área Variável de Afluência

A Área Variável de Afluência (AVA), também chamada de zona ripária, é a área onde o lençol freático encontra a superfície do terreno ou a profundidade do lençol é pequena, o que ocasiona em uma grande interação entre o lençol e os demais componentes do ambiente (ZAKIA, 1998). Na teoria, seus limites laterais se ampliam até o alcance da planície de inundação (LIMA; ZAKIA, 2000). Estas áreas, que em termos hidrológicos, ecológicos e geomorfológicos são as mais dinâmicas da paisagem, as florestas que a ocupam são chamadas de matas ripárias ou ciliares (ATTANASIO, 2004).

O conceito de AVA pressupõe que uma bacia hidrográfica hipotética com uma densa cobertura vegetal, as ações causadoras de escoamento superficial não seriam produzidas em toda a extensão da bacia. Salienta-se que o entendimento desse conceito enquanto mecanismo de geração de escoamento por saturação é resultante de pesquisas em bacias experimentais, que ocorreram de forma independente e simultânea na França (Cappus, 1960), Japão (Tsukamoto, 1963) e Estados Unidos (Hewlett e Hibbert, 1967).

Posteriores trabalhos consolidaram o conhecimento de que o escoamento superficial seria produzido em uma pequena parte da bacia hidrográfica, sendo suas dimensões variáveis no espaço-tempo (Hewlett e Hibbert, 1967; Kirkby, 1969; Dunne, 1970; Dunne e Black, 1970; Dunne et al., 1975).

De acordo com essa teoria, essas áreas mais predispostas à geração de escoamento superficial por saturação, tendem a aumentar e diminuir conforme a sazonalidade, configurando uma parcela de área da bacia variável entre 1% e 50% da área total (Dickinson e Whiteley, 1970), dependendo da quantidade e da intensidade de precipitação.

Pereira (2007) considerou áreas hidrologicamente sensíveis, as Áreas Variáveis de Afluência (AVA ou índice topográfico e também denominado Topographic Wetness Index - TWI), pois são as áreas onde há maior formação de fluxo de água superficial e saturação do solo após um evento de chuva. Informação esta que representa um elemento importante na avaliação da vulnerabilidade ambiental, de determinadas regiões. Por meio de um manejo adequado das zonas de maior produção de escoamento superficial, os riscos de deslizamentos de terra e conservação da qualidade de águas superficiais podem ser minimizados.

Segundo Beven e Kirkby (1979), a área de contribuição é variável devido os fatores que originam o aparecimento do escoamento superficial, representado pela topografia local do terreno e por uma lei exponencial, relacionando a transmissividade com a profundidade da superfície de saturação do solo.

Existe uma sequência de estudos relacionados à aplicação da AVA como parâmetro na determinação de atributos da paisagem que tenham relação com a topografia. Sorensen et al. (2005) ressaltou que a topografia influencia diretamente a umidade do solo e indiretamente o seu pH e estes fatores afetam a distribuição e riquezas de espécies de plantas vasculares (GIESLER et al., 1998). A AVA em função de apresentar esta correlação, tem sido utilizada para prever a distribuição de espécies de plantas vasculares em florestas boreais (ZINKO, 2005).

De acordo Hewlett e Hibbert (1967), o escoamento por saturação do solo não é produzido ao longo de toda a superfície da bacia hidrográfica, mas sim, por influência de uma área de origem dinâmica, uma vez que sofre expansões e contrações de saturação, ou seja, '*Área Variável de Afluência*' (AVA) como demonstra a Figura 5.

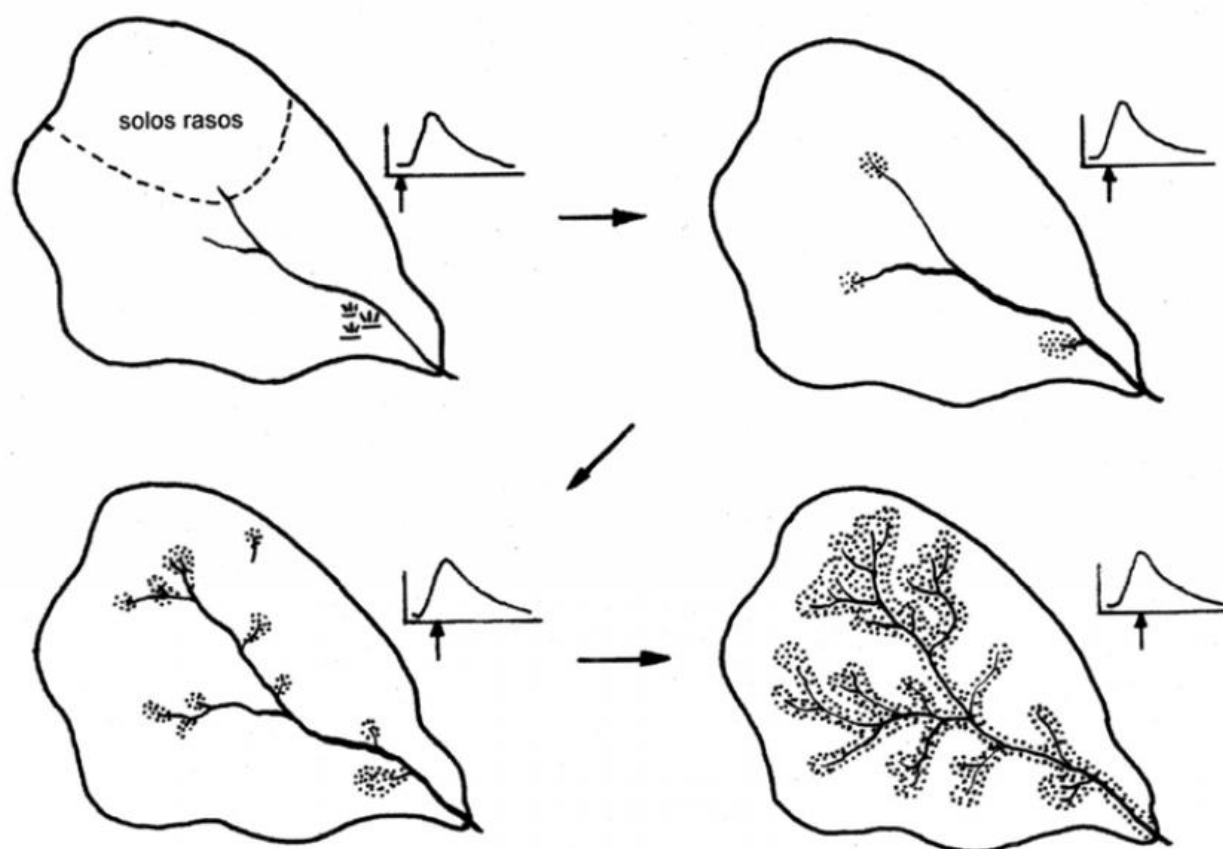


Figura 5. Evolução da Área Variável de Afluência no processo de geração do escoamento por saturação durante uma chuva.
 Fonte: Hewlett (1982)

De modo geral, as Áreas Variáveis de Afluência podem ser identificadas como:

- zonas saturadas que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras; e
- concavidades do terreno, para as quais convergem as linhas de fluxo.

Tais áreas de afluência demonstram constituem uma fração média de 10% da área da bacia hidrográfica, podendo ocorrer variações entre 1% a 50%, dependendo da quantidade e intensidade da chuva (ZAKIA, 1998).

Santos (2001) destacou que a topografia da bacia, nesta situação, é a característica mais importante no controle do fluxo de água, por desempenhar uma grande influência, não apenas no movimento de água subterrânea, mas também na água de superfície.

Os processos de escoamento nas vertentes são vários e dependem da natureza multivariada dos fenômenos físicos, químicos, biológicos e antrópicos. Os processos de escoamento numa bacia vertente segundo Mendiondo e Tucci (1997) são:

- escoamento superficial excedente da infiltração;
- escoamentos internos;
- escoamento superficial por saturação do solo; e
- escoamento pela integração de processos.

Aprofundamentos na localização das áreas saturadas e nos mecanismos 'internos' das vertentes referenciados por Kobiyama et al. (1998), evidenciando os seguintes mecanismos internos:

- fluxo através de macroporos;
- macroporos longitudinais interligados ou '*piping*';
- escoamento de retorno ou 'efeito pistão'; e
- intumescência da camada saturada.

Um esquema geral desses fluxos é esboçado por Atkinson (1978) e encontra-se na Figura 6.

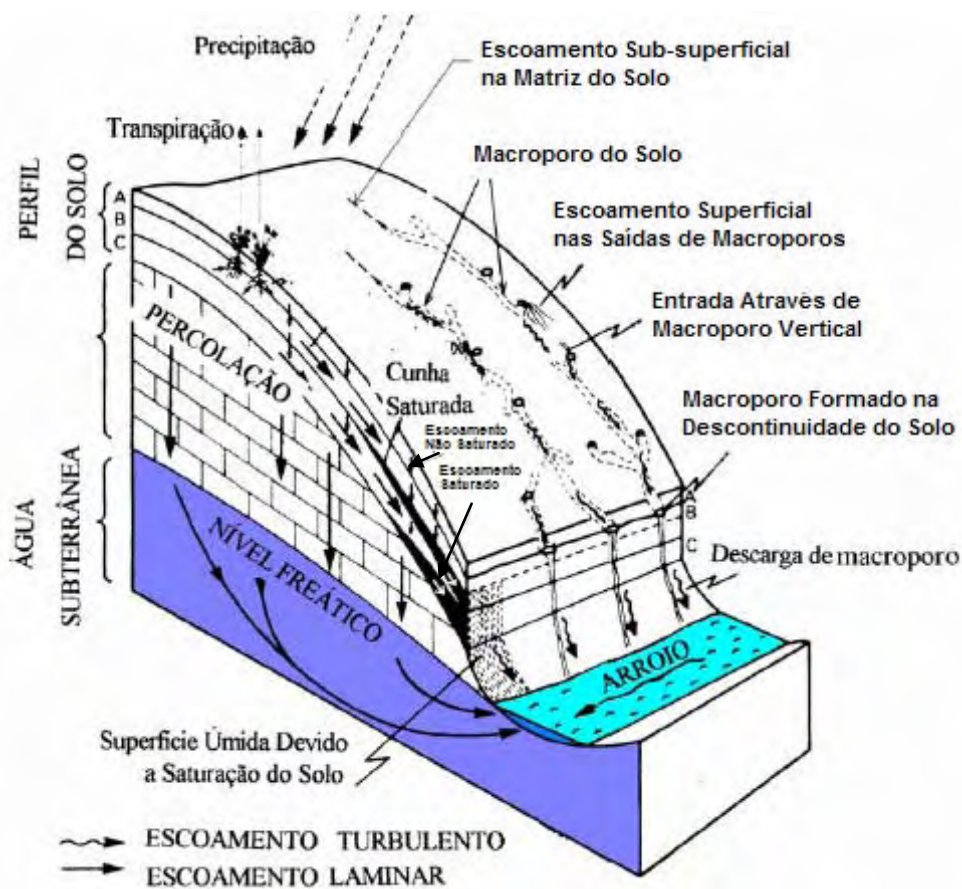


Figura 6. Bloco diagrama da geração de escoamento na vertente.
 Fonte: Atkinson (1978)

Dunne (1983), combinando os mecanismos de geração do escoamento, esboça os componentes dominantes na geração dos mesmos, o clima, vegetação e uso do solo, sendo a topografia e o tipo de solos, os principais controladores e determinantes dos escoamentos (Figura 7).

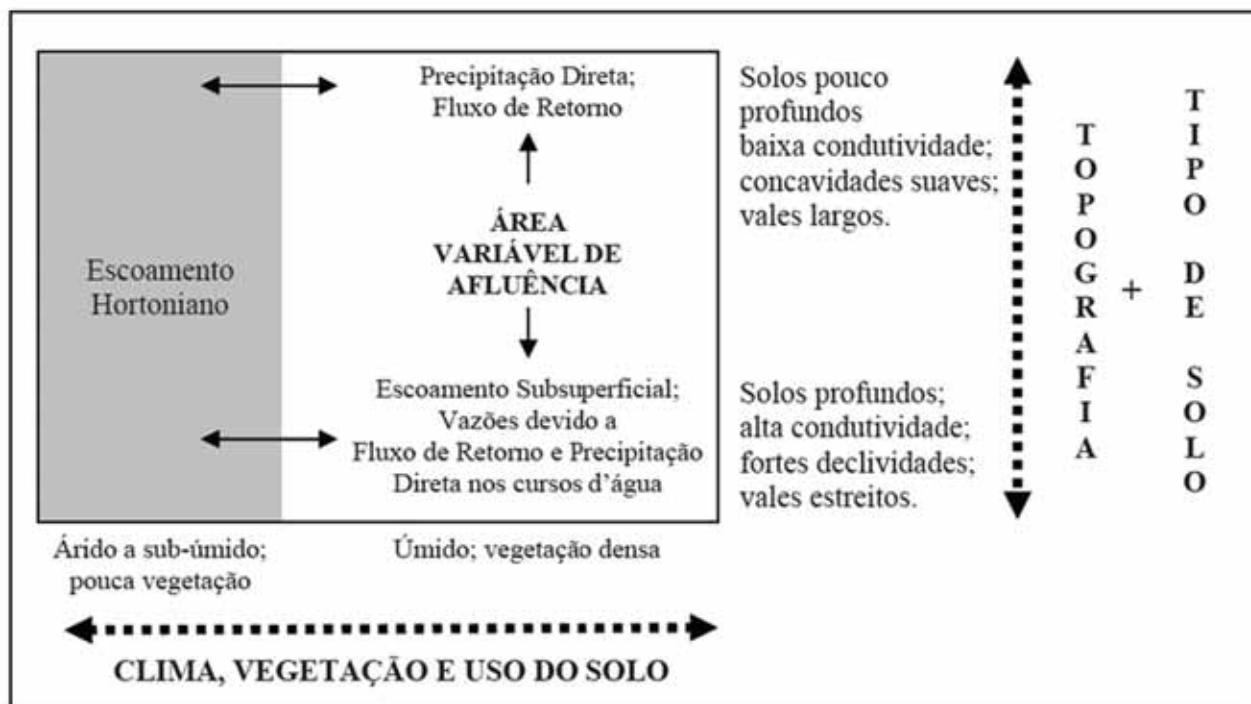


Figura 7. Processos de escoamento e principais condicionantes.

Fonte: Modificado de Dunne (1978)

Silva (2011) estudando a sub-bacia hidrográfica do Araquá entre os municípios de São Manuel e Botucatu, por meio de imagens orbitais de alta resolução observou que dentre as AVA, 28,5 % são recorrentes às áreas com declividade entre 8 e 20 % e 51 % nas áreas de declividades entre 3 e 8 %. Devido o índice topográfico levar em conta a relação área de contribuição da bacia hidrográfica e do terreno.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

3.1.1 Localização

A sub-bacia do Ribeirão Lavapés, no município de Botucatu, está localizada na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, geograficamente localizada entre as coordenadas 22°43'12" de latitude Sul e 48°29'43" de longitude Oeste de Greenwich, com altitudes variando entre 455 e 924 metros (IBGE, 1982), conforme mostra a Figura 8. A principal nascente deste curso d'água está localizada muito próxima à zona urbana do município, na área do Parque Municipal Zoobotânico.

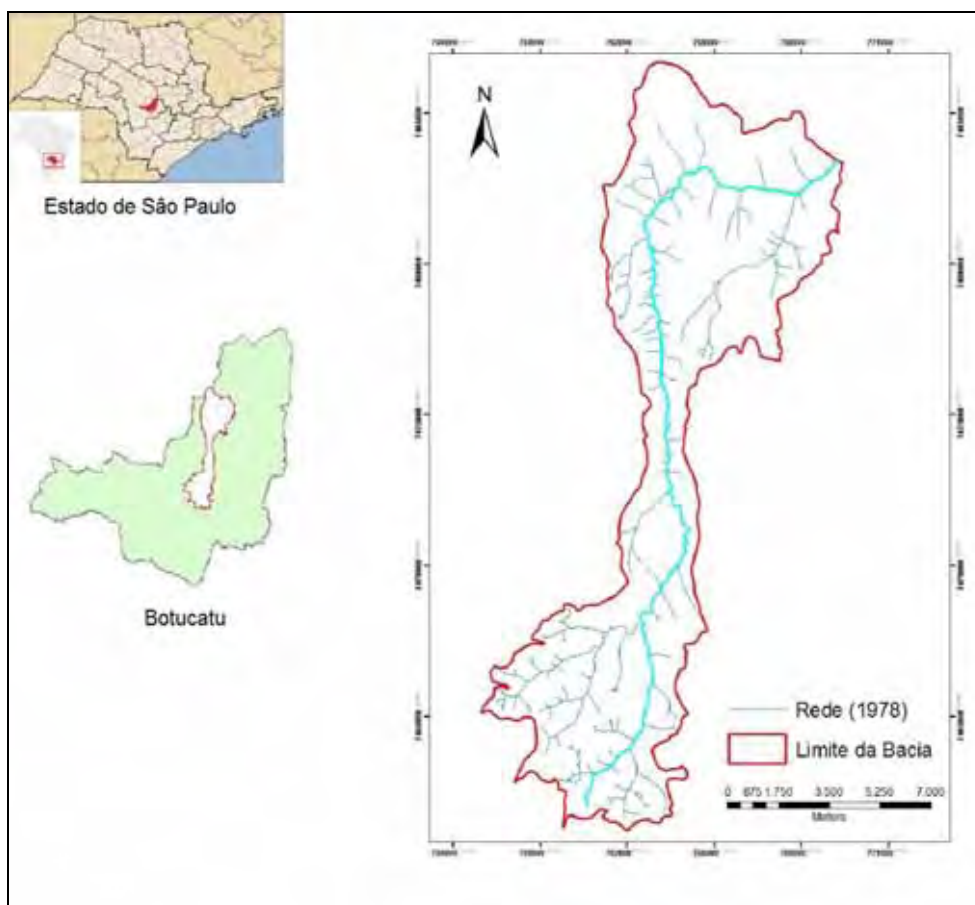


Figura 8. Localização da sub-bacia do Ribeirão Lavapés em Botucatu-SP.

A sub-bacia do Ribeirão Lavapés drena uma área de 11.154,58 ha, tendo como principal curso d'água o Ribeirão Lavapés, o qual desemboca na Represa de Barra Bonita, que é formada pelas águas represadas do Rio Tietê, sendo o Ribeirão Lavapés seu afluente esquerdo. O Rio Tietê por sua vez integra a bacia hidrográfica do Rio Paraná.

O Estado de São Paulo apresenta uma divisão de 11 grandes Grupos de Bacias Hidrográficas, cujo o município de Botucatu está enquadrado no quinto grupo, ou seja, na Bacia do Sorocaba/Médio Tietê, sendo que o município localiza-se na área da referida bacia.

A divisão dos grupos de bacias hidrográficas do Estado de São Paulo foi feita conforme a divisão hidrográfica aprovada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH em 25/11/1993 e regulamentada no decreto n.º 38.455 de 21/03/1994 (SÃO PAULO, 1994).

Leopoldo (1989) considerou como desembocadura a parte inicial da bacia, na altura da Fazenda Experimental Lageado – UNESP e, ao caracterizar a bacia, encontrou uma densidade de drenagem de $1,36 \text{ km/km}^2$, declividade média de 11 % e declividade total do curso principal de 1,05 %. Essas características estabelecem à bacia um escoamento das águas de chuva bastante rígido, com maior escoamento superficial que infiltração.

A bacia possui uma descarga média junto à saída na Fazenda Lageado de $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com uma produção diária calculada em 51.840 m^3 , sendo que desse total, estima-se que são provenientes do Rio Pardo cerca de 30.000 m^3 , pertencente à bacia do Rio Paranapanema, fonte de abastecimento para a cidade de Botucatu (LEOPOLDO, 1989).

Parte da área da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, como grande parte do município de Botucatu, encontram-se protegidos pela Área de Proteção Ambiental (APA) perímetro de Botucatu, criada pelo Decreto Estadual n.º 20.960 de 8 de junho de 1983. A APA tem por objetivo proteger os recursos naturais de áreas compreendidas nas três regiões fisiográficas existentes: Depressão Periférica, Frente e Reverso da Cuesta de Botucatu (SOUZA et al., 1985).

3.1.2 Clima

Com relação ao clima, no município de Botucatu predomina, segundo o sistema de Köppen do tipo Cfa – clima temperado chuvoso, possuindo uma direção do vento predominante Sudeste (SE). Segundo Martins (1989), a região apresenta uma temperatura média anual de aproximadamente $20,2 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo que a temperatura média dos meses mais quentes atinge $23,2 \text{ }^\circ\text{C}$ e de $16,9 \text{ }^\circ\text{C}$ nos meses mais frios. Apresenta um índice pluviométrico entre 1.100 e 1.700 mm anuais (CARVALHO; JIM, 1983), podendo, segundo Leopoldo et al. (1998), atingir valores superiores a 1.800 mm anuais, nos meses mais chuvosos atinge 223,4 mm e nos meses mais secos 37,8 mm.

3.1.3 Hidrografia

Uma rede hidrográfica é formada por um conjunto de rios, canais de drenagem, reservatórios (lagos, lagoas, açudes, represas e etc.) onde as águas superficiais são encontradas. Na sub-bacia do Ribeirão Lavapés, a rede hidrográfica tem como o seu principal curso d'água o rio Lavapés, no qual percorre um longo trecho de 34,85 km até a desembocadura na Represa de Barra Bonita, que é formada pelas águas represadas do Rio Tietê, sendo o Ribeirão Lavapés seu afluente esquerdo. O Rio Tietê por sua vez integra a bacia hidrográfica do Rio Paraná.

Oliveira (2009), em sua pesquisa de avaliação de parâmetros hídricos e ecológicos em sub-bacias hidrográficas da região de Botucatu, determinou os índices de vazão para a sub-bacia do Ribeirão Lavapés na ordem de $1,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em períodos chuvosos e de $0,52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ nos períodos secos. O rio Lavapés possui largura média em períodos chuvosos de 4,05 metros e nos períodos secos de 3,65 metros.

3.1.4 Relevo

Na maioria das vezes, as feições geomorfológicas regionais estão associadas ao embasamento rochoso local. A região do município de Botucatu está inserida nas seguintes províncias geomorfológicas: Depressão do Médio Tietê Superior, Cuesta Basáltica e Planalto de Botucatu/Itatinga (IPT, 1981). A sub-bacia do Ribeirão Lavapés drena as três províncias.

Segundo Araujo Junior (2001), a região apresenta diferentes formas fisiográficas em relação a sua variação de altitude: na área da Depressão Periférica, a altitude varia de 450-650 m, na Cuesta de 650-840 m e no Planalto Ocidental de 790-940 m.

Denomina-se Depressão Periférica a parte baixa do relevo que predominante está compreendido entre suave a suave-ondulado (EMBRAPA, 2006).

A Cuesta é uma feição marcante da região, o que proporciona um constante trabalho de erosão sobre o solo, formando plataformas rochosas que se destacam nos seus vales ao redor. Seu relevo apresenta uma sucessão de camadas alternadas e com

diferentes resistências ao desgaste, formando uma suave declividade no reverso e um corte íngreme na chamada frente de Cuesta (ALMEIDA, 1964).

O Planalto Ocidental Paulista apresenta-se extremamente festonado e variado, com relevo uniforme de perfis convexos e cimos ondulados, onde suas terminações laterais são lobadas, suas colinas são baixas e amplas que avançam em direção aos vales dos principais rios, interrompidas raramente por afloramento de camadas mais resistentes ao intemperismo, como é caso da Formação Marília. O relevo repetidas vezes termina em escarpas abruptas, torna-se acidentado, proporcionando vertentes de perfis côncavos e desníveis de até 100 m, apesar dos cursos dos rios apresentarem uma declividade baixa em seu leito. Os cursos d'água escavam o vale, expondo a Formação Serra Geral, o relevo é mais acidentado, convexo e os leitos mais declivosos, tornando suas águas rápidas, o que torna comum o surgimento de saltos e cachoeiras (ALMEIDA, 1964).

3.1.5 Geologia

Na sub-bacia do Ribeirão Lavapés afloram duas formações geológicas; a Formação Marília, na parte superior e a Formação Adamantina, na parte inferior pertencentes ao Grupo Bauru; e sob este afloram, de cima para baixo, as Formações Serra Geral, Botucatu e Pirambóia, pertencentes ao Grupo São Bento (IPT, 1981).

A Formação Marília é composta por arenitos de grosseiros a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matiz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis, ocorrem em bancos maciços de 180 m de espessura aproximadamente, raramente apresentando estratificação cruzada de médio porte, com seixos concentrados nos estratos, algumas camadas de lamitos vermelhos e calcários. São característicos da unidade, nódulos carbonáticos, que aparecem dispersos nos sedimentos e cimento carbonático. Enquanto a Formação Adamantina é a representação de ambientes fluviolacustres bastante organizados, através de bancos de arenito de granulação fina a muito fina, cor rósea a castanha, com estratificação cruzada, em alternância com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, maciços ou com acamamento paralelo (IPT, 1981).

A Formação denominada Serra Geral tem em sua composição basaltos e lentes de arenito, o que forma a feição geomorfológica de Front da Cuesta que é caracterizada por apresentar solos rasos e terreno acima de 30% de declividade.

As Formações Botucatu e Pirambóia são compostas por arenitos de deposição hídrica para a primeira e por arenitos de deposição eólica para a segunda, o que resulta na feição geomorfológica denominada de Depressa Periférica da Cuesta (IPT, 1981).

3.1.6 Solos

Segundo Piroli (2002), a área apresenta solos dos tipos: Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Distroférrico, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Neossolo Litólico Distrófico, Gleissolo Vermelho Distrófico, Neossolo Flúvico Distrófico, Neossolo Quartzarênico Distrófico e Nitossolo Vermelho Distrófico.

3.2 Material

3.2.1 Material cartográfico

Foram utilizadas para a vetorização das curvas de nível, da rede de drenagem e do limite da bacia, cartas planialtimétricas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, em escala 1:10.000, com equidistância vertical entre as curvas de nível de 5 m, editadas em 1978, pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC, 1978), com sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), no datum Córrego Alegre. A Tabela 2 mostra as cartas utilizadas.

Tabela 2. Cartas planialtimétricas utilizadas para o estudo da área

Codificação Internacional	Nome da folha
SF-22-Z-B-VI-3-SO-D	Fazenda Segrede
SF-22-Z-B-VI-3-SO-C	Aeroporto de Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-SO-B	Botucatu IV
SF-22-Z-B-VI-3-SO-A	Botucatu III
SF-22-Z-B-VI-3-NO-E	Botucatu I
SF-22-Z-B-VI-3-NO-F	Botucatu II
SF-22-Z-B-VI-3-NO-C	Fazenda Agulha
SF-22-Z-B-VI-3-NO-D	Fazenda Lageado
SF-22-Z-B-VI-3-NO-A	Fazenda Araguá
SF-22-Z-B-VI-3-NO-B	Vitoriana
SF-22-Z-B-VI-1-SO-E	Fazenda Morro Azul
SF-22-Z-B-VI-1-SO-F	Fazenda Aurora

3.2.2 Imagens orbitais na discriminação da cobertura do solo

Para o desenvolvimento do mapa de cobertura do solo na sub-bacia do Ribeirão Lavapés, foram utilizadas imagens do satélite de observação da Terra SPOT-5 (Système Pour l'Observation de la Terre-5), do dia 27 de junho de 2010. Os satélites da família SPOT operam com sensores óticos, com bandas do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio.

Para uma melhor visualização da imagem foi realizada a composição RGB da imagem do satélite com as bandas 1, 2 e 3, respectivamente.

As imagens SPOT são oferecidas em cenas-padrão de 60 x 60 km e estão disponíveis nas resoluções espaciais de 10 m por pixel.

3.2.3 Fotografias Aéreas

Foram utilizadas as fotografias aéreas verticais provenientes da cobertura aerofotogramétrica do Estado de São Paulo, efetuadas no ano de 2005, por Serviços Aerofotogramétricos Base S.A., com escala nominal aproximada de 1:30.000.

3.2.4 Programas

Para a confecção do banco de dados da área de estudo foi utilizado o programa ArcGIS e para a elaboração do cálculo do índice topográfico a extensão, TauDEM versão 5.

3.3 Métodos

3.3.1 Planos de informação

A realização do levantamento por meio das cartas planialtimétricas em formato digital possibilitou a confecção dos arquivos do limite da bacia, rede de drenagem e curvas de nível pelo processo de vetorização em ambiente CAD que por sua vez foram importadas para o SIG, originando o mapa de declividade e o Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia.

3.3.1.1 Hidrografia

A rede de drenagem da sub-bacia do Ribeirão Lavapés foi estabelecida por meio de classificação visual em tela sobre as fotografias aéreas de 2005. Este método possibilita traçar a rede de drenagem da bacia hidrográfica, diferente da observada nas cartas planialtimétricas do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC) do ano 1978.

3.3.1.2 Cobertura do solo e Mata Ciliar

Para a elaboração do mapa de cobertura do solo da sub-bacia do Ribeirão Lavapés foi utilizada as imagens do satélite SPOT 5 do ano de 2010, no qual foi realizado um recorte utilizando-se o limite geográfico da área de estudo. Com a utilização do SIG, a imagem foi contrastada a fim de proporcionar melhor conforto visual.

O mapa de cobertura do solo foi gerado pela interpretação em tela da imagem, na qual foram identificadas 12 classes: corpos d'água, várzea, citrus, mata nativa, culturas anuais, pastagem, quintais, café, zona urbana, erosão, reflorestamento e edificações.

3.3.1.3 Área de preservação permanente de acordo com o Código Florestal

As Áreas de Preservação Permanente (APP) são espaços territoriais especialmente protegidos, de grande importância ecológica, que devem ser cobertos por vegetação, mas que na natureza são encontrados cobertos ou não por vegetação nativa. Estas são instrumento de relevante interesse ambiental, pois tem como função preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas.

Alguns exemplos de APP são as áreas de mananciais, as encostas com mais de 45 graus de declividade, os manguezais e as matas ciliares.

As APP são protegidas pela lei Federal nº 4.771/65, alterados pela lei Federal 7.803/89. Qualquer intervenção nestas áreas deve requerer autorização da CETESB, caso contrário, será considerado crime ambiental passível de pena de detenção e multa.

Para o município de Botucatu, de acordo com a lei Federal considerou Áreas de Preservação Permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural situada:

- 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 metros de largura;
- ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais e artificiais, sendo 100 metros, para as que estejam em áreas rurais;

- nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45° (quarenta e cinco graus), equivalente a 100 % (cem por cento) na linha de maior declive.

O mapa das Áreas de Preservação Permanente (APP) da bacia hidrográfica foi processado, utilizando-se a rede de drenagem atualizada, para o ano de 2005 a partir de fotografias aéreas, gerando buffers (APP) sobre a imagem de 2010, de acordo com as diretrizes da lei Federal no 4.771/65, alterada pela lei Federal 7.803/89.

Com a utilização do mapa de cobertura vegetal e uso atual das terras, realizado na primeira etapa do projeto, juntamente com a atualização da rede de drenagem e as definições processadas de APPs, obteve-se o mapeamento de toda Área de Preservação Permanente do município de Botucatu e suas atuais situações de cobertura vegetal, portanto obteve-se a uma visão ambiental principalmente em relação à conservação destas áreas. Esta primeira etapa foi fundamental para a identificação das áreas críticas que devem ter prioridade nas ações de recuperação, possibilitando desta forma, estudos e análises destas, que serão usadas como diretrizes para ações futuras de recomposição da vegetação.

Para a determinação da Área de Preservação Permanente ao longo dos cursos d'água foi realizado um buffer de 30 metros para cada margem da rede de drenagem e das várzeas e 50 metros de raio para cada nascente resultando assim, na obtenção da APP da sub-bacia do Ribeirão Lavapés.

3.3.1.4 Curvas Topográficas e Modelo Numérico de Elevação (MNE)

As cartas topográficas planialtimétricas do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) do ano de 1978, na escala 1:10.000, com equidistância de curvas de nível de 5m, abrangendo o município de Botucatu, foram utilizadas para a vetorização das curvas de nível da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, que não permitem uma visualização continua das altitudes da área de estudo. Devido a esse fato, é necessária a geração de uma superfície com valores que variam continuamente no espaço, cujo valor em um determinado ponto depende dos valores vizinhos (EASTMAN, 1999).

Por meio da triangulação, os valores das altitudes foram utilizados como vértices na geração de triângulos, resultando na triangulação da área da bacia hidrográfica, que pode ser melhor visualizado pela Figura 8 já apresentada no item 2.3.2.

Por fim, é gerado um modelo raster da superfície onde os topos de morros e depressões são modeladas de acordo com as tendências dos dados mais próximos.

3.3.1.5 Declividade

Para a confecção do mapa de declividade foram utilizadas as cartas planialtimétricas do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC), com equidistância vertical de 5 metros entre as curvas de nível, nas quais foram utilizadas as informações digitalizadas de curvas de nível, rede de drenagem e pontos cotados em ambiente SIG por meio da interpolação denominada Topo to Raster, o que possibilitou a geração do Modelo Numérico de Elevação (MNE) do terreno, tendo como resultado um MNE raster em grade, na resolução de 4 metros em cada célula.

3.3.1.6 Definição de Áreas Variáveis de Afluência (AVA)

As Áreas Variáveis de Afluência (AVA) ou Índice Topográfico, também chamado Topographic Wetness Index (TWI), foram definidas utilizando o MNE raster em grade gerado das informações digitalizadas das cartas planialtimétricas do IGC.

Com expectativa de se obter um efeito da modelagem hidrológica mais preciso, o MNE foi formado com uma resolução de 4 metros para cada célula.

Ramos et al. (2003) destacam que para o modelo proporcione efeitos satisfatórios sobre a realidade a ser modelada, é necessário que haja um MNE de boa qualidade, com boa resolução de detalhes. Recomenda-se que a qualidade da resolução mínima necessite ser de 50 metros para cada célula (XAVIER, 2007).

Elaborado o MNE, partiu-se para a realização do cálculo da área de contribuição e declividade do terreno conforme apresentado na equação (x) que são variáveis necessárias para utilizar a AVA como fator na análise multicriterial, o qual foi realizado com a utilização do programa TauDEM 5 desenvolvido por David Tarboton na Utah State University (USA) para o ArcGIS.

O programa é disponibilizado gratuitamente no site da Utah State University, onde há um tutorial com todas as explicações e procedimentos para sua utilização.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rede de Drenagem

A hidrografia da sub-bacia do Ribeirão Lavapés obtida das fotografias aéreas da cobertura aerofotogramétrica do Estado de São Paulo, do ano de 2005, permitiu uma leitura importante sobre a gestão desta unidade de planejamento. Conforme as cartas planialtimétricas do IGC de 1978, a bacia possuía uma rede hidrográfica de aproximadamente 150,46 Km (Figura 9).

Com a vetorização da rede hidrográfica, a partir das fotografias aéreas do ano de 2005, foi possível identificar que a sub-bacia do Ribeirão Lavapés, para este ano, apresentou rede hidrográfica de aproximadamente 119,52 Km (Figura 10). Mesmo que as redes de drenagem tenham sido calculadas por métodos distintos, podemos perceber que este resultado sugere que em um período de 27 anos, a bacia sofreu uma redução de 20,56 % em sua rede de drenagem.

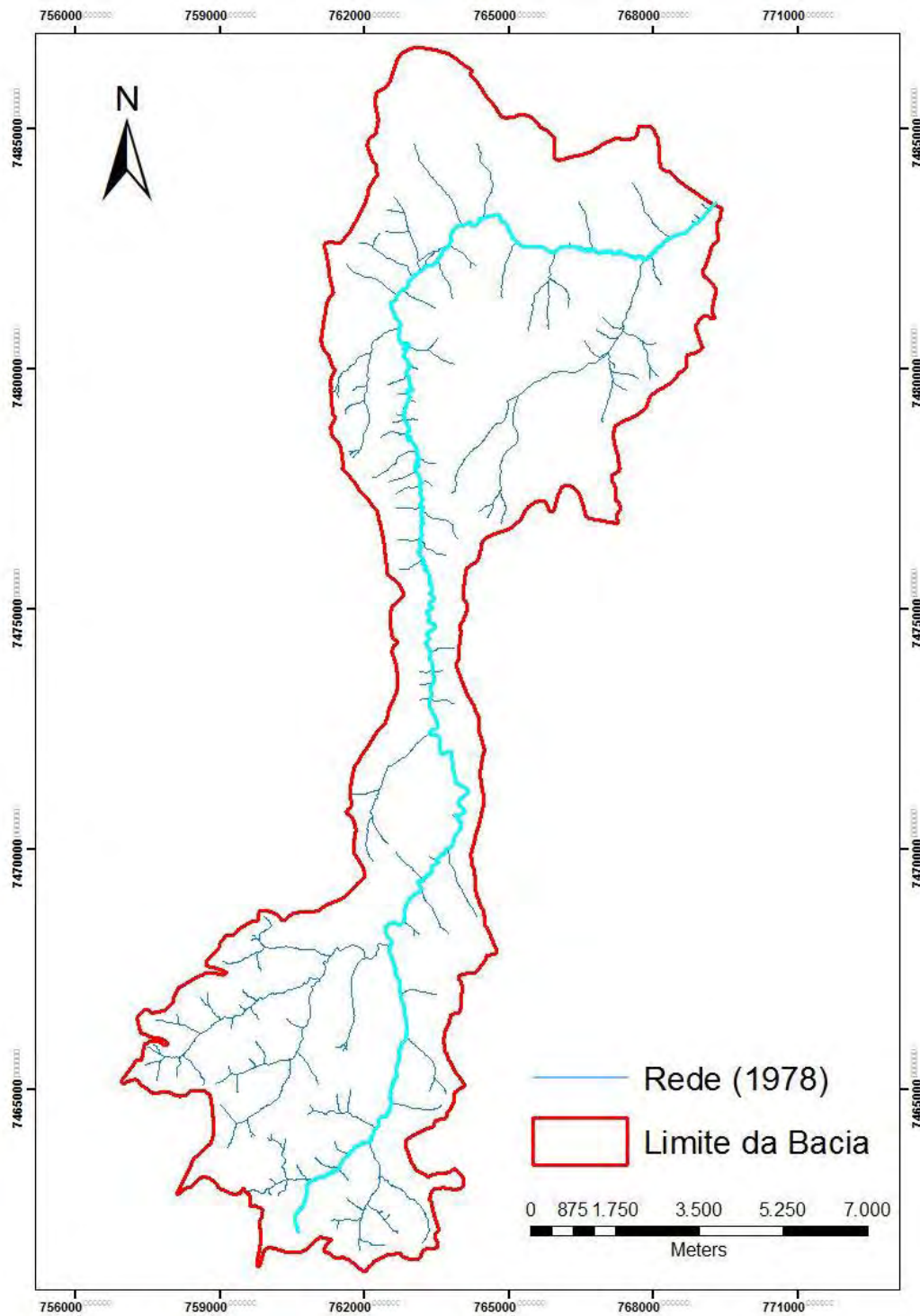


Figura 9. Mapa da rede de drenagem da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, no ano de 1978. Em destaque o Ribeirão Lavapés.

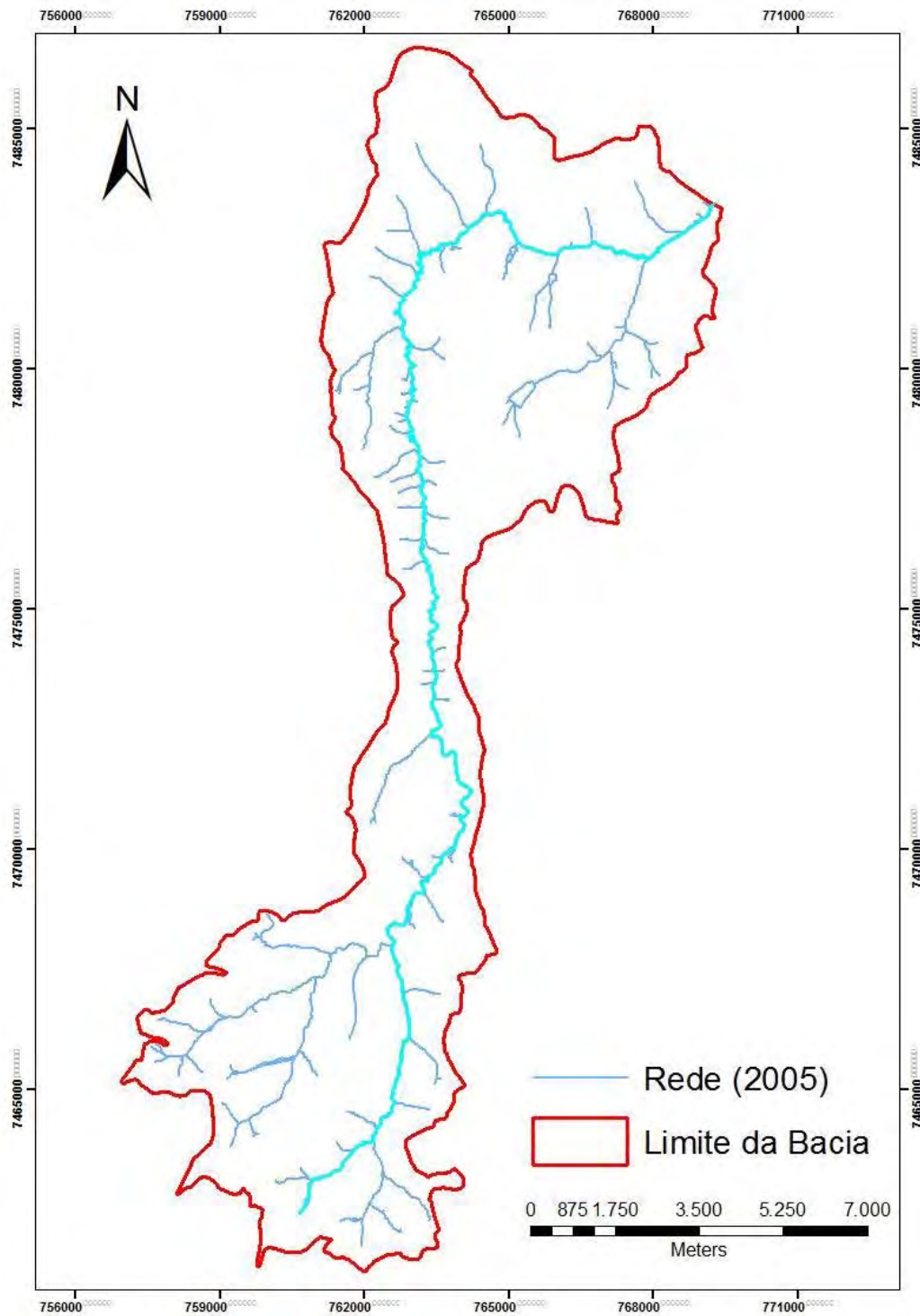


Figura 10. Mapa da rede de drenagem da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, no ano de 2005. Em destaque o Ribeirão Lavapés.

A redução da rede de drenagem é um fenômeno que vem sendo observado em trabalhos desenvolvidos em uma região produtora de cana de açúcar no município de Barra Bonita (OLIVEIRA, 2009) e em um estudo de diagnóstico ambiental realizado no município de Jaú, ambos municípios no interior do estado de São Paulo (CASTRO, 2008).

4.2 Cobertura do solo

Pelo procedimento metodológico de classificação visual em tela, foi possível realizar a classificação da imagem de satélite, sendo classificadas em 12 diferentes tipos de cobertura do solo presentes na área de estudo: corpos d'água, várzea, mata nativa, pastagem, erosão, edificações, quintais, culturas anuais, citrus, café, reflorestamento e zona urbana, conforme ilustra a Figura 11.

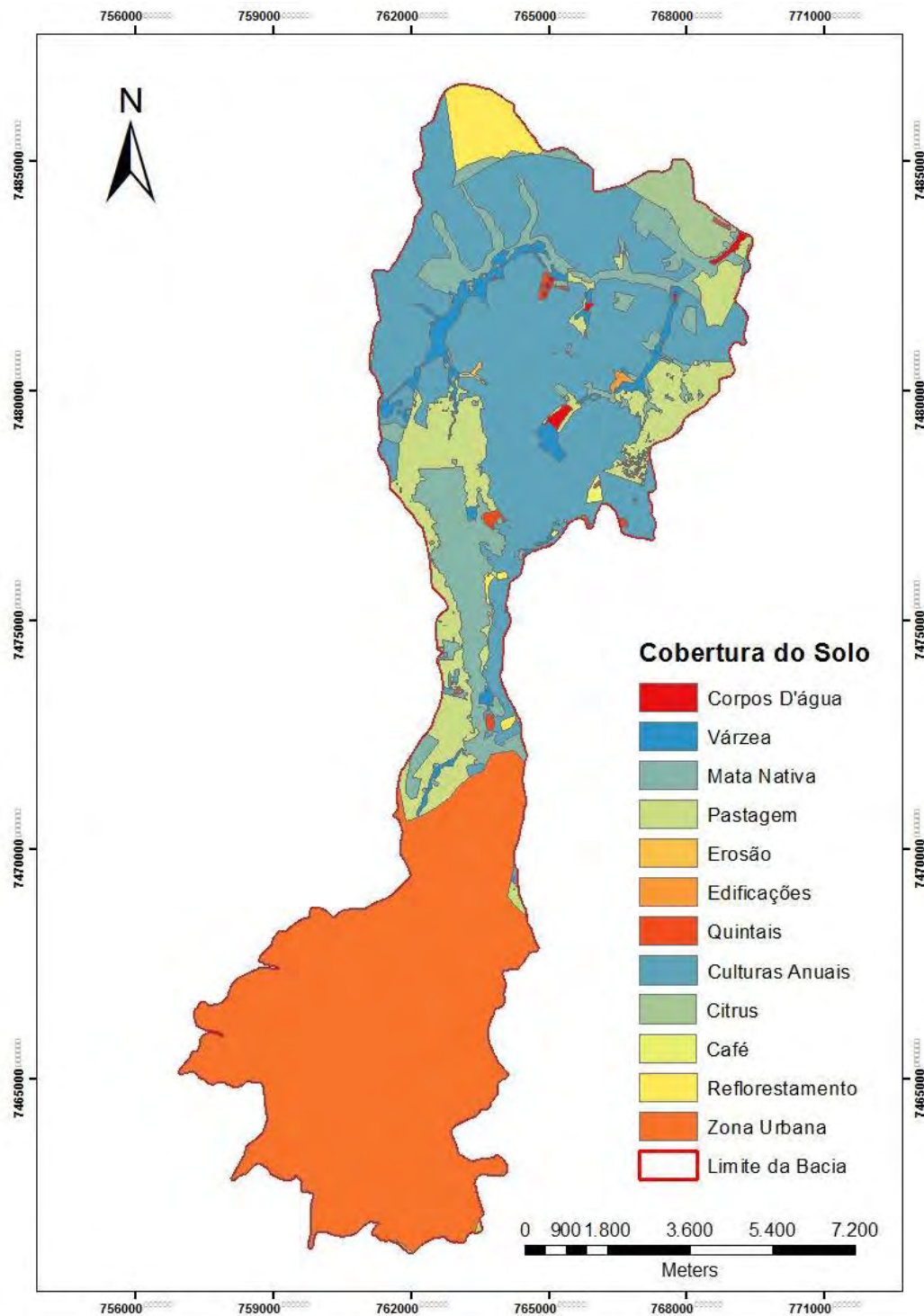


Figura 11. Mapa de cobertura do solo da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, no município de Botucatu-SP.

As classes de cobertura do solo foram quantificadas, obtendo-se o percentual correspondente a cada classe, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Classes de cobertura do solo na sub-bacia do Ribeirão Lavapés, no ano de 2010

Cobertura do solo	Área (ha)	Área em relação à bacia (%)
Zona Urbana	4.394,27	39,39
Culturas Anuais	3.670,89	32,91
Pastagem	1.121,79	10,06
Mata Nativa	1.109,70	9,95
Várzea	281,27	2,52
Reflorestamento	262,12	2,35
Citrus	203,19	1,82
Quintais	37,98	0,34
Corpos D'água	35,02	0,31
Edificações	20,00	0,18
Café	13,36	0,12
Erosão	4,99	0,04
TOTAL	11.154,58	100,00

As classes que apresentaram maior predominância na bacia foram a zona urbana no Reverso da Cuesta, com 4.394,27 ha (39,39 %) e as culturas anuais na Depressão Periférica, com 3.670,89 ha (32,91 %).

4.3 Área de Preservação Permanente de acordo com o Código Florestal

Um entre outros benefícios em se utilizar fotografias aéreas para a obtenção da rede de drenagem é que também pode ser obtido o mapa de cobertura do solo.

A mata ciliar e a rede de drenagem são elementos que apresentam uma grande associação entre si em uma bacia hidrográfica, na qual as matas ciliares representam o elemento de transição e ligação dos corpos d'água com as mais variadas coberturas do solo.

Desta maneira, dos cálculos e espacialização Áreas de Preservação Permanente (APP), pôde-se obter uma aceitável capacidade para mensuração da quantificação das áreas na bacia hidrográfica que estão sem a presença de APP devidamente de acordo com a legislação ambiental brasileira.

Com isso foi possível quantificar a zona de APP que possui uma área total de 1.721,80 ha, o que corresponde a 15,44 % da área total da sub-bacia do Ribeirão Lavapés (Figura 12).

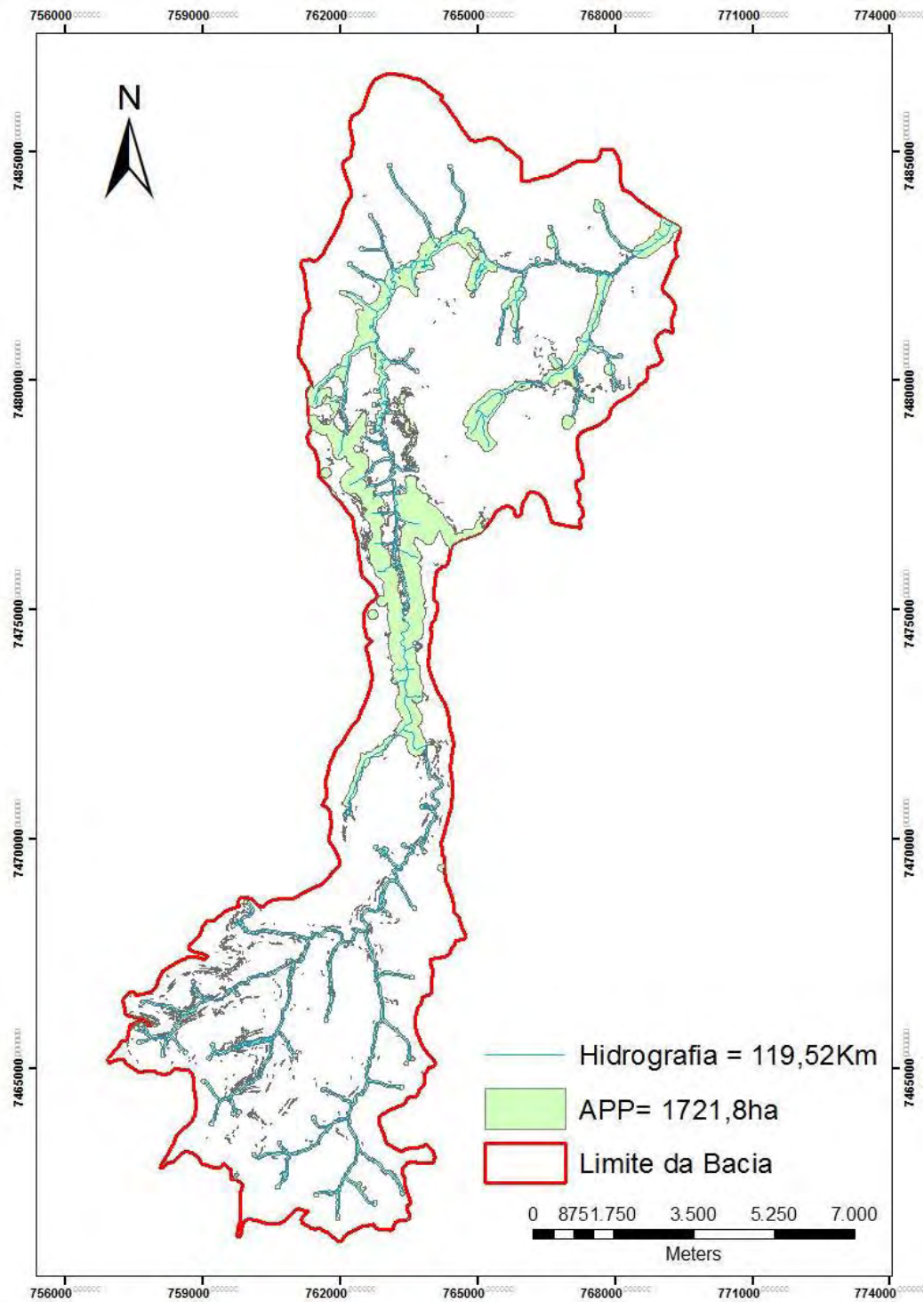


Figura 12. Mapa que representa a zona de APP e a rede hidrográfica gerado a partir da interpretação visual de uma imagem orbital SPOT-5, do ano de 2010, na sub-bacia do Ribeirão Lavapés.

4.4 Modelo Numérico de Elevação (MNE)

O Modelo Numérico de Elevação da sub-bacia do Ribeirão Lavapés gerado pelo programa possibilitou verificar o comportamento de elevação da superfície da área de estudo, representado na Figura 13.

Conforme comentado na metodologia o MNE é uma representação matemática computacional de uma seção da superfície terrestre. A posição espacial sobre a superfície é representada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de atributo ao fenômeno é representado pelo eixo z, correspondente à elevação.

Com o MNE, pôde-se observar a variação de elevação da superfície da área de estudo, onde nas áreas mais baixas variam entre 450 – 660 m e nas áreas mais alta entre 660 – 920 m.

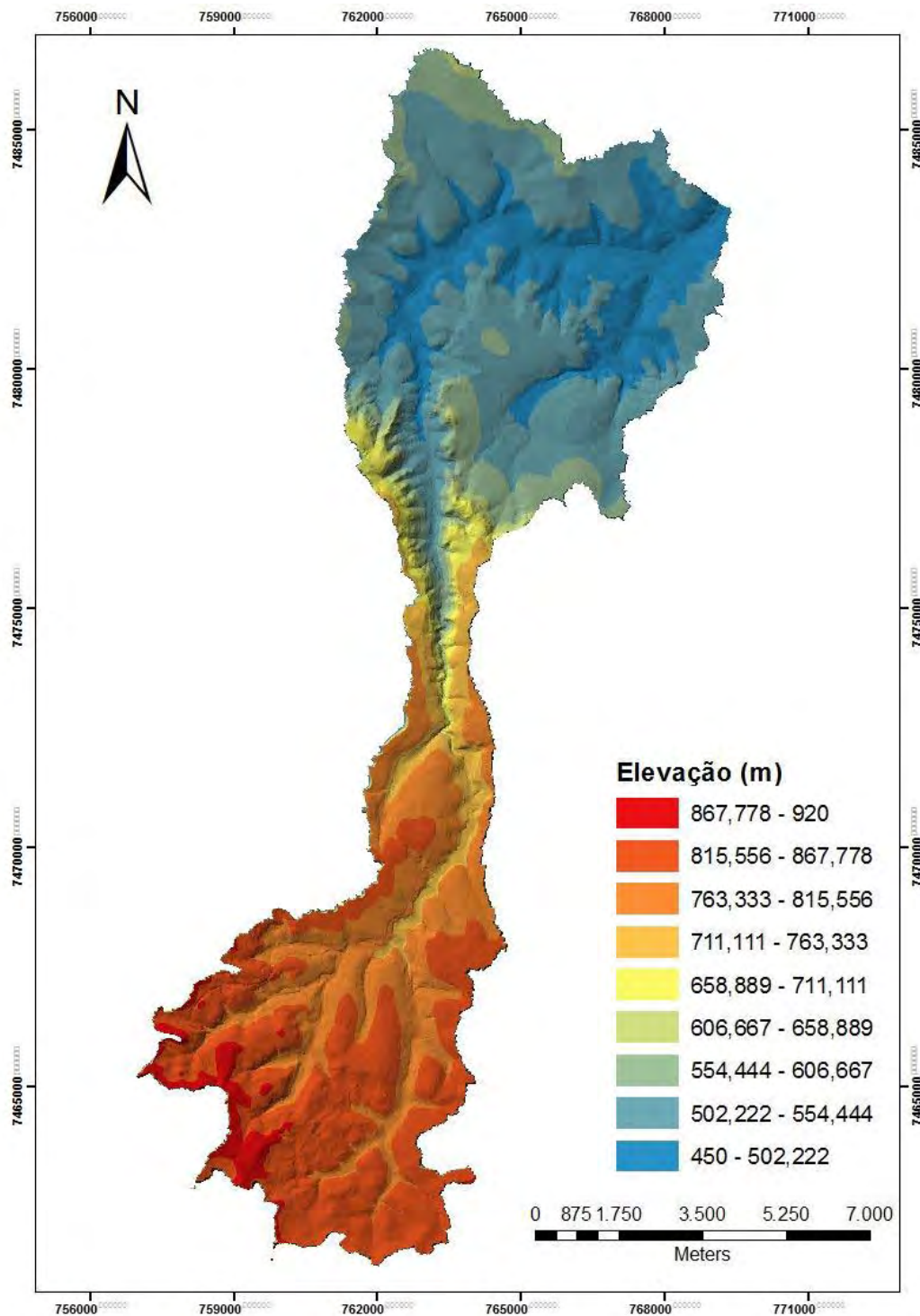


Figura 13. Mapa do Modelo Numérico de Elevação da sub-bacia do Ribeirão Lavapés.

4.5 Declividade

As classes de declividade do terreno encontradas na sub-bacia do Ribeirão Lavapés, bem como, a sua distribuição ao longo da área estão ilustradas na Figura 14 e detalhadas na Tabela 4.

As classes predominantes de declividade na bacia são as de 3 a 8 % e de 8 a 20 %.

Com a interpretação das características do relevo da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, pode-se observar que a classe de declividade de 3 a 8 % predomina na porção norte da bacia, mais especificamente na feição geomorfológica da Depressão Periférica.

A classe de declividade de 8 a 20 % está presente em toda a bacia, mas com maior ocorrência no Front e Reverso da Cuesta.

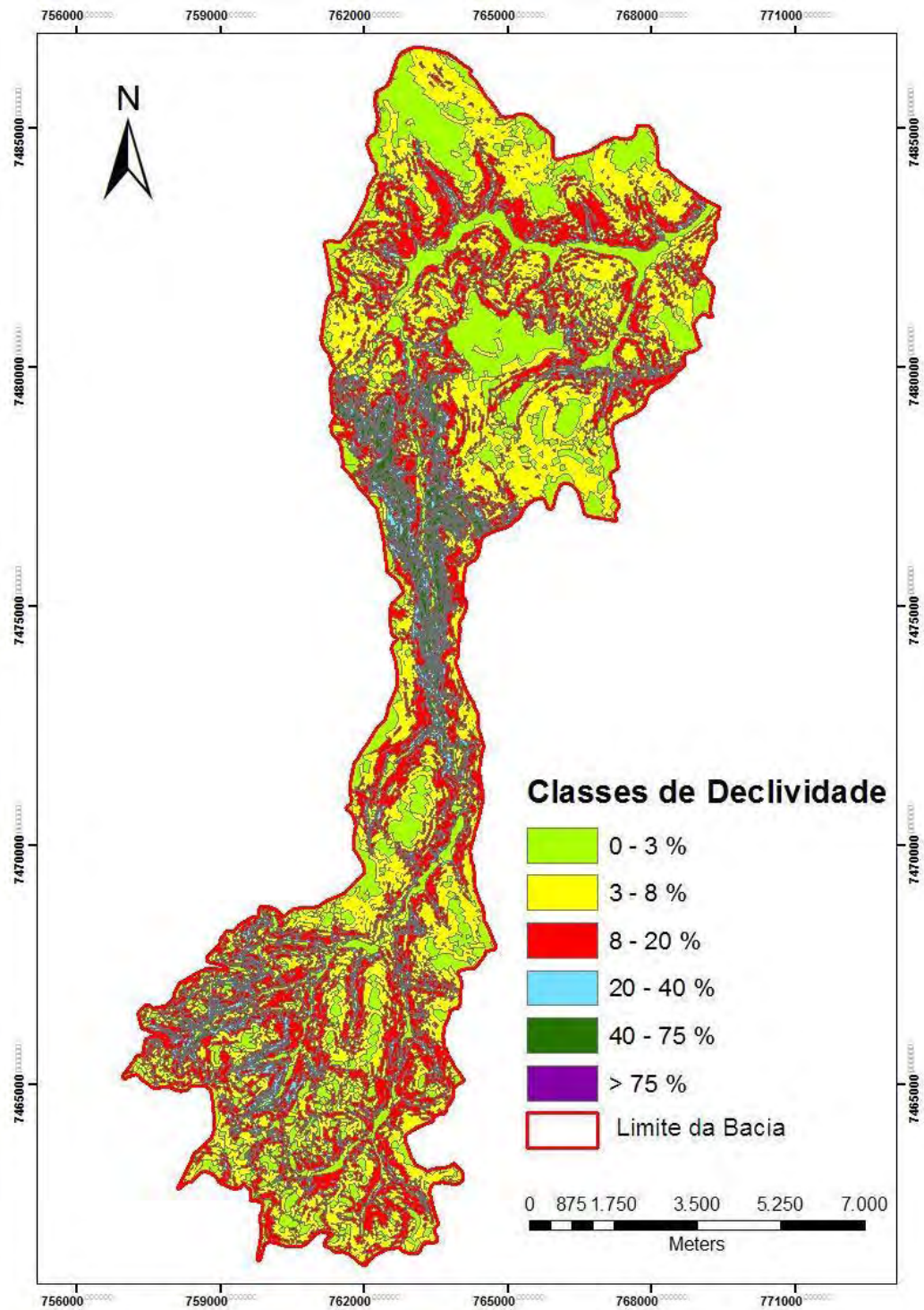


Figura 14. Classes de declividade da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Tabela 4. Classes de declividade da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006)

Classes de declividade	Descrição	Área (ha)	Área em relação à bacia (%)
0 – 3%	Plano	2.578,94	23,12
3 – 8%	Suave ondulado	3.837,18	34,4
8 – 20%	Ondulado	3.530,42	31,65
20 – 40%	Forte ondulado	783,05	7,02
40 – 75%	Montanhoso	395,99	3,55
> 75%	Escarpado	29,00	0,26
Total		11.154,58	100,00

A área do Reverso da Cuesta está praticamente toda ocupada pela Zona Urbana e devido a forte declividade do Front da Cuesta ocorre um impedimento a ocupação do solo.

A informação sobre a declividade de um terreno é conhecimento fundamental para a tomada de decisão sobre a escolha de práticas de manejo do solo (tipo de culturas, viabilidade de mecanização). Por meio deste conhecimento da declividade do terreno há a possibilidade de se compreender o comportamento do processo de escoamento da água na bacia hidrográfica, bem como, de suas propriedades hidrológicas ou mesmo a sensibilidade do terreno a processos erosivos (SILVA, 2011).

4.6 Área Variável de Afluência (AVA)

Com o cálculo do índice topográfico feito pelos procedimentos metodológicos descritos pode-se obter o mapa com a espacialização ou a localização geográfica das Áreas Variáveis de Afluência (Figura 15) e a espacialização normatizada (Figura 16), na área de estudo.

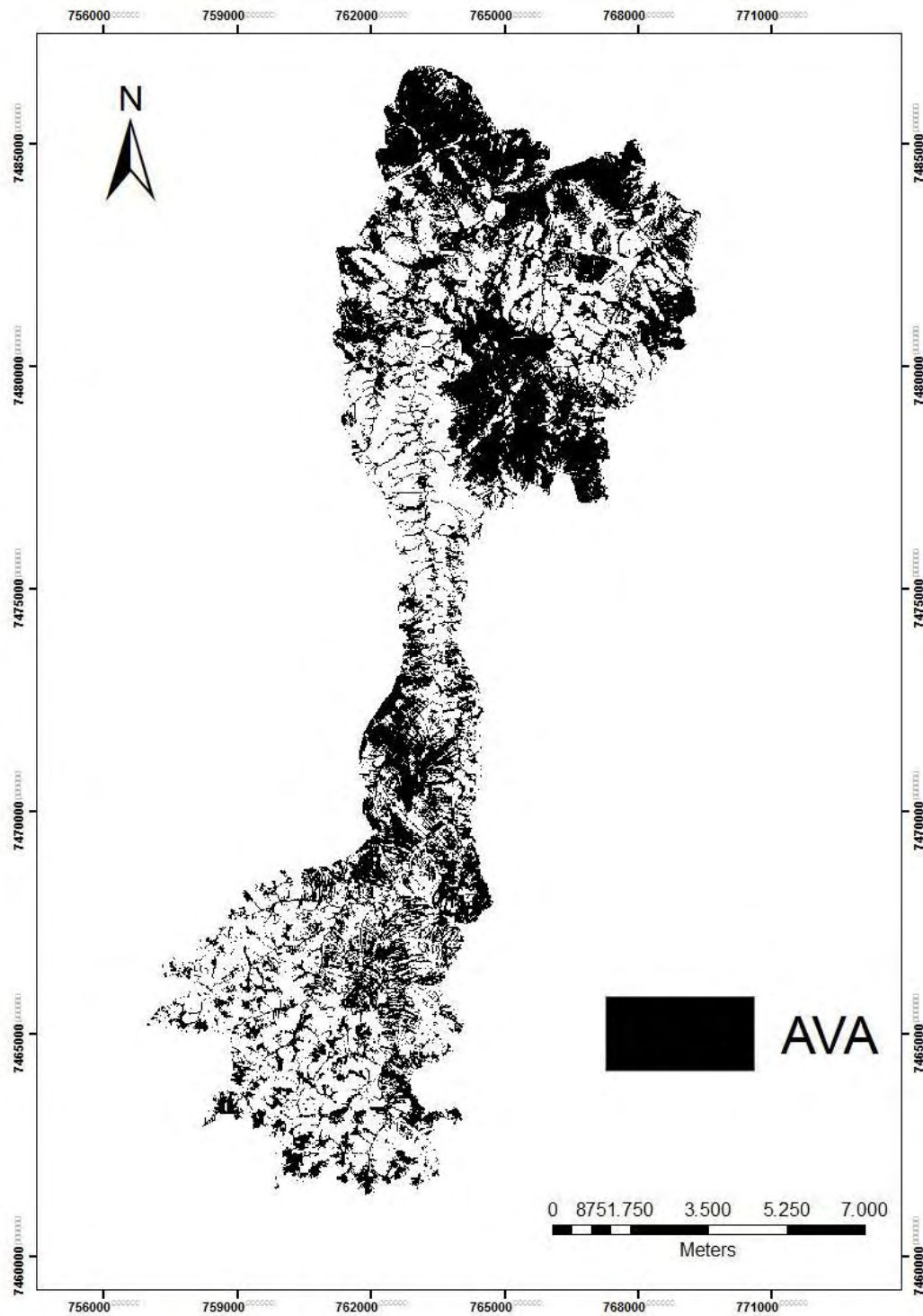


Figura 15. Espacialização das Áreas Variáveis de Afluência na sub-bacia do Ribeirão Lavapés.

Conforme a espacialização da área pode-se constatar que as feições geomorfológicas tem grande influência sobre a Área Variável de Afluência. As AVAs encontram-se predominantemente na Depressão Periférica, área de grande fragilidade na região.

Na Depressão Periférica predominam solos de textura mais grosseira e de fácil infiltração além de estarem nas posições mais inferiores do relevo. Com isso, como é área de recarga do aquífero, a ausência de mata ciliar e de vegetação exuberante pode comprometer a quantidade e qualidade da água no Aquífero Guarani.

O Front da Cuesta possui relevo mais acidentado e formato côncavo. De acordo com Silva (2011), determinar o parâmetro área de contribuição é de extrema importância uma vez que nestas áreas, principalmente nas porções côncavas do relevo, há potencial de saturação e, conseqüentemente, maior instabilidade do terreno.

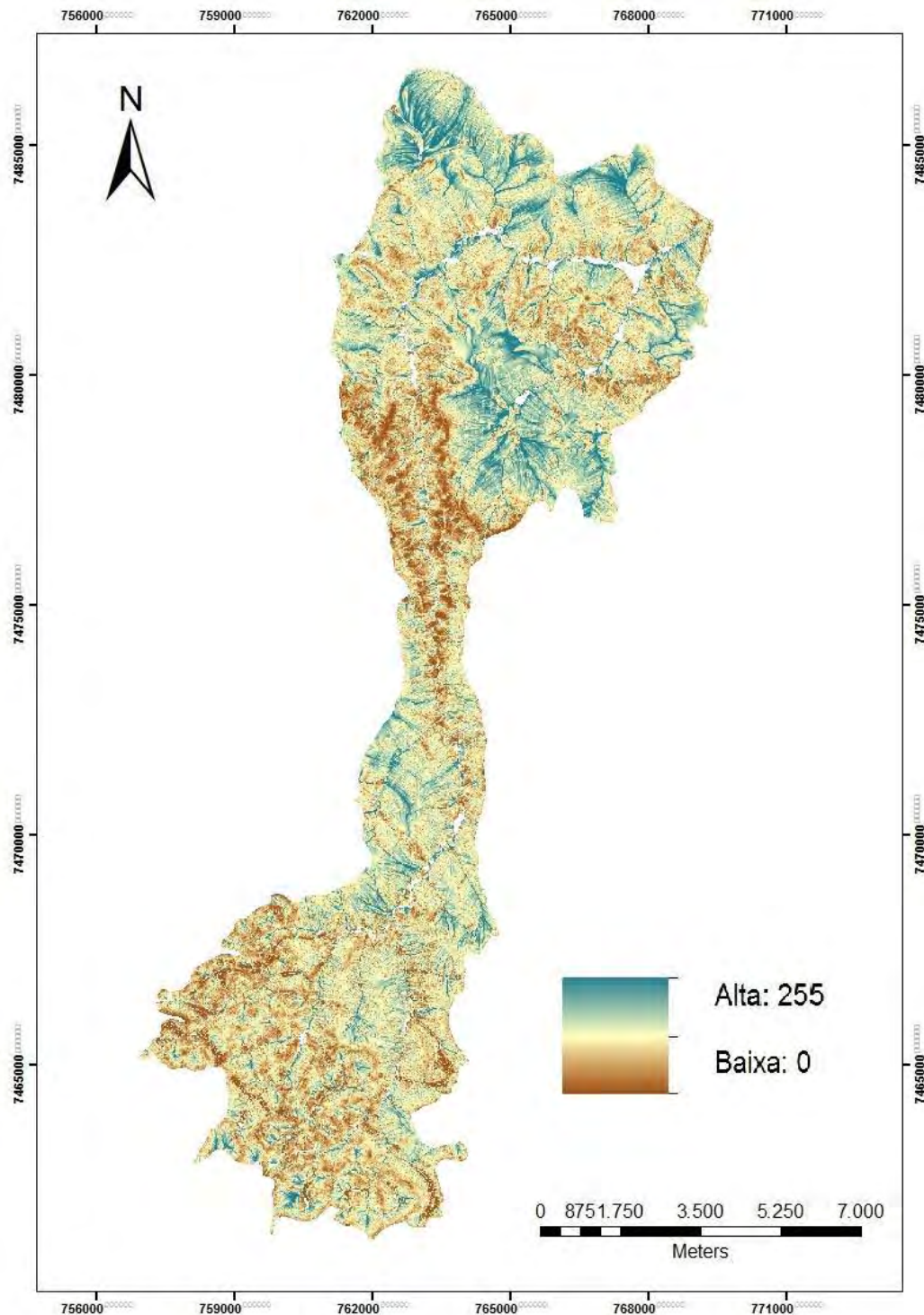


Figura 16. Normatização da Área Variável de Afluência em escala de 0 a 255 com valores de importância em ordem crescente para a sub-bacia do Ribeirão Lavapés.

Para determinação das áreas de maior importância hidrológica, a AVA foi dividida em uma escala de sete níveis de prioridade, da classe de extremamente baixa para a classe de extremamente alto nível de prioridade (Tabela 5 e Figura 17). Devido à ausência de parâmetros predefinidos na literatura, foram divididas em classes com intervalos iguais.

Tabela 5. Classes de Áreas Variáveis de Afluência na sub-bacia do Ribeirão Lavapés

Classes	Prioridade	Área (ha)
1	Extremamente baixa	915,79
2	Muito baixa	2.712,79
3	Baixa	3.581,74
4	Média	2.600,13
5	Alta	1.040,72
6	Muito alta	256,56
7	Extremamente alta	45,73

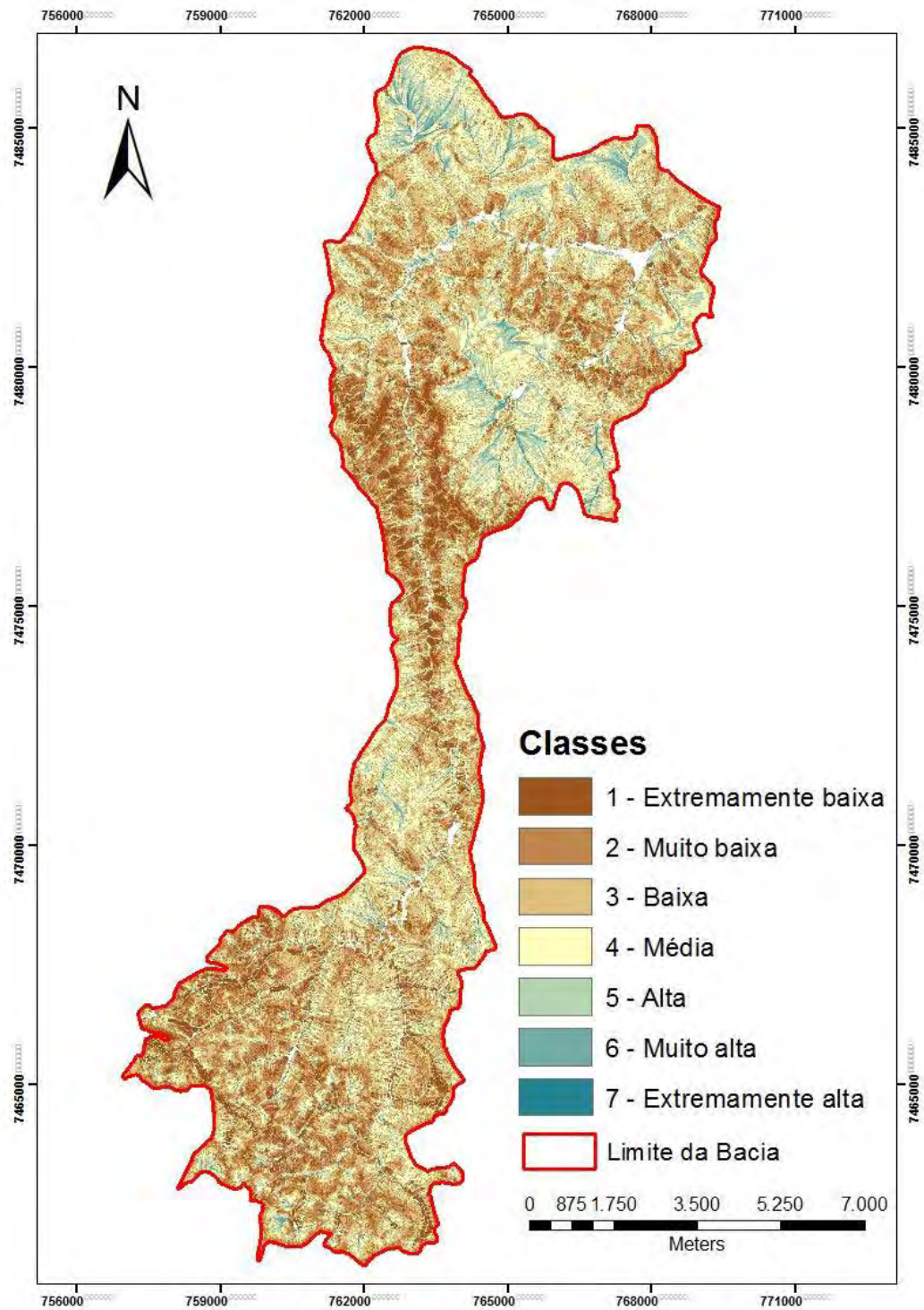


Figura 17. Classes de Área Variável de Afluência na sub-bacia do Ribeirão Lavapés.

As classes de AVA com níveis de prioridades extremamente alta, muito alta e alta, são de grande importância e há necessidade de recomposição da mata nativa que encontram-se ausente. Estas representam 12,04 % ou 1.343,01 ha da área total, estando presente em toda a sub-bacia do Ribeirão Lavapés.

4.7 Áreas de Conflitos

Da elaboração do mapa de conflitos, pode-se verificar que a sub-bacia do Ribeirão Lavapés possui uma área total de 11.154,58 ha, onde as principais áreas de conflitos em relação às APPs estão representadas dentro de 1.721,80 ha, de áreas destinadas as APPs e que correspondem a 15,44 % da área total da bacia.

De acordo com o Código Florestal Brasileiro a área está com 69,09 % da sua APP em conflito de uso, ou seja, 1.189,65 ha não apresenta cobertura de vegetação nativa e 532,15 ha estão cobertos por mata nativa, a qual ser visualizada pela Tabela 6 e Figura 18.

Tabela 6. Quantificação da área correta e de conflito em APPs na sub-bacia do Ribeirão Lavapés

Área de conflito em APPs		
Classes	Área (ha)	%
Corpos d'água	35,02	2,03
Várzea	281,27	16,34
Pastagem	245,35	14,25
Erosão	3,47	0,20
Edificações	3,56	0,21
Quintais	23,62	1,37
Culturas Anuais	197,09	11,45
Citrus	5,25	0,30
Café	0,85	0,05
Reflorestamento	7,05	0,41
Zona Urbana	387,12	22,48
Sub Total	1.189,65	69,09
Área correta em APPs		
Mata Nativa	532,15	30,91
Área Total	1.721,80	100,00

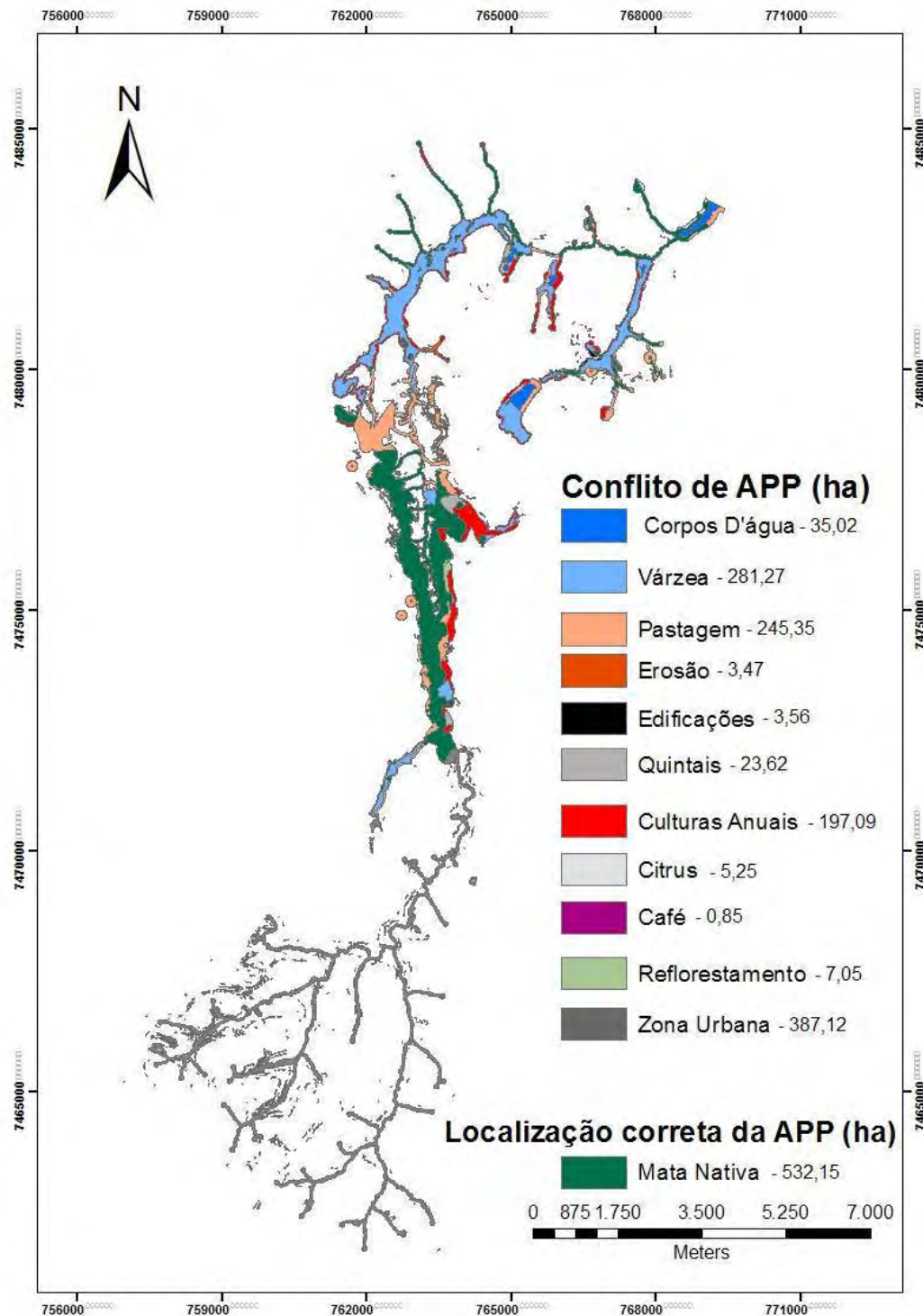


Figura 18. Mapa de localização das áreas destinadas e em conflitos de APPs, em relação à cobertura do solo.

Áreas como a Mata Nativa, Várzea e Corpos d'água são de grande importância para a APP, onde apresentou uma área de 848,44 ha que corresponde 49,28 % da área total da APP.

As áreas com maior predominância de conflitos com APPs estão representadas pelas classes de Zona Urbana e Pastagem, apresentando uma área de 387,12 ha (22,48 %) e 245,35 ha (14,25 %), respectivamente.

Também foi elaborado e quantificada as áreas com correspondência da AVA com as regiões onde ocorrem às APPs, como mostra a Figura 19 e Tabela 7.

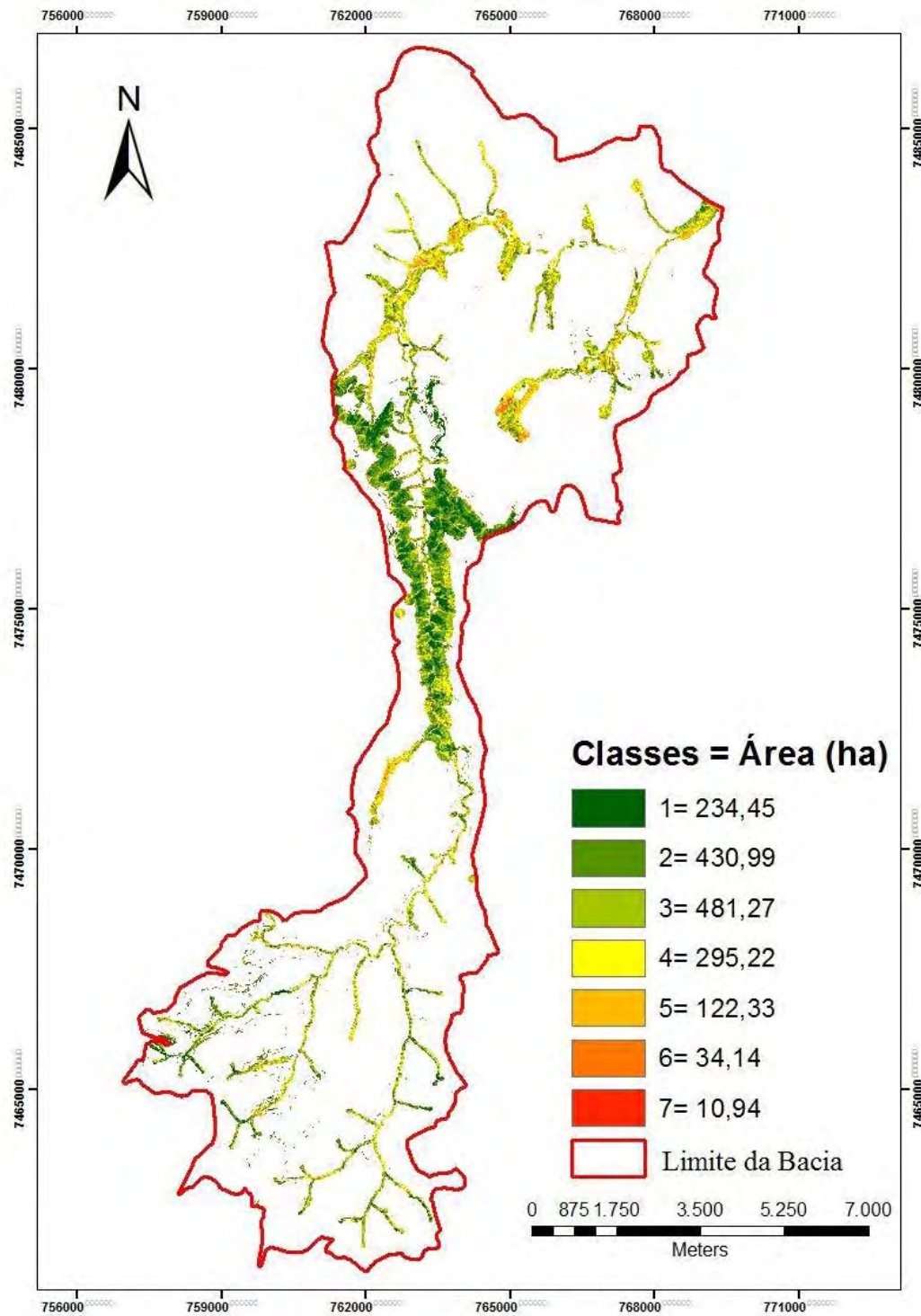


Figura 19. Mapa de identificação das áreas prioritárias para a recomposição da APP.

Tabela 7. Quantificação das áreas em que ocorrem APP nas áreas de AVA na sub-bacia do Ribeirão Lavapés.

Classes	AVA x APP	
	Área (ha)	%
1	250,89	14,57
2	461,14	26,78
3	514,87	29,90
4	315,81	18,34
5	130,87	7,60
6	36,51	2,12
7	11,71	0,68
TOTAL	1.721,80	100

As classes 5, 6 e 7 são as que representam maior importância hidrológica, sendo que estas ocorrem com maior frequência na Depressão Periférica e no Planalto Ocidental, no entanto, o Front da Cuesta apresenta menor área devido ao seu relevo mais acidentado.

As áreas prioritárias que necessitam de recomposição florestal apresentam uma área de 179,09 ha (10,40 %) da área total de APP da sub-bacia do Ribeirão Lavapés. Estas classes encontram-se próximas as margens dos cursos d'água que devem apresentar vegetação nativa para a proteção do leito do ribeirão, que necessitam recomposição da APP para sua regularização.

5 CONCLUSÕES

Por meio do banco de dados digital da sub-bacia do Ribeirão Lavapés pode-se concluir que:

- a rede de drenagem da bacia apresentou uma redução de 20 % da sua extensão num período de 27 anos;
- no mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) foi verificada a ausência de vegetação nativa ciliar em 1.189,65 ha (69,09 %) da área que deveria ser ocupada por APP;
- houve predominância das áreas de zona urbana com 4.394,27 ha (39,29 %) e culturas anuais 3.670,89 ha (32,91%) na ocupação do solo da bacia;
- Área Variável de Afluência (AVA) não está ocupada corretamente com mata ciliar, pois dos 1.721,80 ha de APP, 1.022,24 ha são ocupados por vegetação que não ocorre nas áreas ripárias e 167,41 ha são áreas prioritárias que necessitam de recomposição.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. Perfil geológico do Estado. In: INSTITUTO DE GEOGRAFIA E CARTOGRAFIA. **Geologia do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1964. p. 254-262.

ARAÚJO JUNIOR, A. A. **Diagnóstico físico conservacionista de 10 microbacias do Rio Capivara – Botucatu (SP), visando a ocupação racional do solo**. 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

ASSAD, E. D. et al. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Planaltina: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa, 1998. cap. 7, p. 119-137.

ATKINSON, C. Techniques for measuring subsurface flow on hillslopes. In: KIRKBY, M. **Hillslope hydrology**. New York: John Wiley, 1978. p. 73-120.

ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. 2004. 193 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2004.

BALBINOT, R. et al. O papel das florestas no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, Wallingford, v. 24, n. 1 p. 43-69, 1979.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Clarendon Press, 1998. 352 p.
- BROWN, D. G.; DUH, J. D.; DRZYZGA, S. A. Estimating error in an analysis of Forest fragmentation change using north-american landscape characterization (NALC) data. **Remote Sensing of Environment**, Minnesota, v. 71, p. 106-117, 2000.
- BROWNER, C. M. **Watershed approach framework**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1996. S96-001.
- CÂMARA, G. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: Instituto de Computação - UNICAMP, 1996. 197 p.
- CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. 1995. 264 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**, 2. ed., Brasília, DF: Embrapa, 1998. cap. 1. p. 3-12.
- CAPPUS, P. Bassin experimental d'Alrance: etudes dès lois de l'écoulement. Application au calcul et a La prevision dès debits. **La Houille Blanche**, Paris, v. A, p. 493-514, 1960.
- CASTRO, J. F. M. **Princípios de cartografia sistemática, cartografia temática e sistema de informação geográfica (SIG)**. Rio Claro: IGCE – UNESP, 1996. 40 p.
- CASTRO, L. I. S. **Diagnóstico ambiental na sub-bacia do Ribeirão Pouso Alegre com a utilização de um sistema de informação geográfica**. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- CARVALHO, W. A.; JIM, J. **Áreas de proteção ambiental: região da “Serra de Botucatu” e região da “Serra de Fartura”**. Botucatu: Instituto Básico de Biologia-UNESP, 1983. 47 p.
- CASIMIRO, P. C. Geografia, ecologia da paisagem e teledeteção: enquadramento – contextualização. **Revista da Faculdade de Letras do Porto**, Lisboa, v. 19, n. 1 p. 467-476, 2004.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236 p.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management: a new introduction**. New York: Oxford University Press, 1990. 410 p.

CORSEUIL, C. W. **Técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios na adequação de uso das terras**. 2006. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Atendimento integrado aos municípios**. São Paulo, 2008. 39 p. (Caderno técnico).

DICKINSON, W. T.; WHITELEY, H. Watershed areas contributing to runoff. **IAHS Publication**, Wellington, v. 96, p. 12-26, 1970.

DUNNE, T. Relation of field studies and modeling in the prediction of storm runoff. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 65, p. 25-48, 1983.

DUNNE, T. **Runoff production in humid areas**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, ARS-41-160, 1970. 108 p.

DUNNE, T.; BLACK, R. D. Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. **Water Resources Research**, Bologna, v. 6, p. 1296-1311, 1970.

DUNNE, T.; MOORE, T. R.; TAYLOR, C. H. Recognition and prediction of runoff-producing zones in humid regions. **Hydrological Sciences Bulletin**, Wallingford, v. 20, p. 305-327, 1975.

EASTMAN, J. R. **IDRISI 32 for Windows: guide to GIS and image processing**. Massachusetts: Clark University, 1999. 2 v.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Andes for Windows: guide to GIS and image processing**. Massachusetts: Clark University, 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Why watersheds**. Washington, DC, 1996. F96-001.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Identificação de Áreas para Recomposição Florestal com Base em Princípios de Ecologia de Paisagem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 575-583, 2003.

FORJAZ, C. H. **Água: substância da vida: o mundo da água**. São Paulo: Ed. do Autor, 2007. 182 p.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G.; CADAMURO, A. L. M. Condições de infiltração em solos na região de recarga do sistema aquífero Urucuia no oeste da Bahia sob diferentes condições de usos. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 542-550, 2007.

GIESLER, R.; HOGBERG, M.; HOGBERG, P. Soil chemistry and plants in fennoscandian boreal forest as exemplified by a local gradient. **Ecology**, Davis, v. 79, n. 1, p. 119-137, 1998.

GROSSI, C. H. **Sistema e informação geográfica – Basins 3.0 na modelagem hidrológica da bacia experimental do Rio Pardo, SP**. 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 294 p.

GUERRA, A. J. T. **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340 p.

HEWLETT, J. D. **Principles of forest hydrology**, Georgia, p. 183, 1982.

HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A. R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FOREST HYDROLOGY, Oxford, 1967. **Proceedings...** Oxford: Pergamon Press, 1967. p. 275-290.

KIRKBY, M. J. Infiltration, through flow and overland flow. In: CHORLEY, R. J. **Water, earth and man**. London: Methuen, 1969. p. 215-227.

KOBIYAMA, M.; GENZ, F.; MENDIONDO, E. M. Geobiohidrologia. In: FÓRUM DE GEO-BIO-HIDROLOGIA: estudo em vertentes e microbacias hidrográficas, 1., 1998. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1998. p. 1- 25.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. **Carta do Brasil –** Quadrícula de Botucatu. Rio de Janeiro. Escala 1:50.000, 1982.

INSTITUTO DE GEOGRAFIA CARTOGRAFIA. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano cartográfico do estado de São Paulo**. Município de Botucatu. Folhas SF-22-Z-VI-1-SOE, SF-22-Z-VI-1-SO-F, SF-22-Z-VI-3-NO-A, SF-22-Z-VI-3-NO-B, SF-22-Z-VI-3-NO-C, SF-22-Z-VI-3-NO-D, SF-22-Z-VI-3-NO-E, SF-22-Z-VI-3-NO-F, SF-22-Z-VI-3-SO-A, SF-22-Z-VI-3-SO-B, SF-22-Z-VI-3-SO-C, SF-22-Z-VI-3-SO-D, São Paulo, Escala 1:10.000, 1978.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. São Paulo: IPT, v. 2, 1981. 126 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Modelagem digital de terrenos e aplicações**. São José dos Campos: INPE, 2000. 111 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

KERSTEN, R. et al. **Hidrology: water quantity and quality control**. 2. ed. New York: John Wiley, 1997. 568 p.

LEOPOLDO, P. R.; STERNBERG, S.; SALATI, E. **Tendências de alterações no regime pluviométrico da região central do Estado de São Paulo, Brasil**. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA RURAL, 2.; CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL, 5., La Plata, 1998. **Libro de las Memórias...** Avances en el manejo del suelo e agua en la Ingeniería rural Latinoamericana. La plata: Editorial de la Universidad nacional de la Plata, 1998. 6 p. (Paper ICR52). 1 CD-ROM.

LEOPOLDO, P. R. **Aspectos hidrológicos da região de Botucatu**. In: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE A AGROPECUÁRIA NA REGIÃO DE BOTUCATU, 1., 1989, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Núcleo de extensão de serviços à Comunidade, 1989. p. 57-70.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2000. p. 33- 44.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908 p.

MARTINS, D. Clima na região de Botucatu – SP. In: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE A AGROPECUÁRIA DE BOTUCATU, Botucatu, 1989. **Anais...** Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1989. p. 8.

MARBLE, D. Geographical information system: an overview. In: PECORA CONFERENCE, 9., Sioux Falls. **Proceedings...** Sioux Falls, v.1, 1984. p. 18-24.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 535 p.

MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. Escalas hidrológicas II: Diversidade de processos na Bacia Vertente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 59-122, 1997.

MOORE, I. D. et al. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, Bristol, v. 5, p. 3-30, 1991.

MOREIRA, M. A. **Sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, 2001. 307 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 320 p.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion & conservation**. New York: Longman, 1986. 298 p.

NAGY, S. C. S. Recuperação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés. In: SILVA, R. F. B.; CHINELATO, F. C. S.; ORSI, A. C. **Lavapés, Água e Vida: nos caminhos da educação ambiental**. Botucatu: SABESP, 2008. cap. 6, p. 119-135.

OLIVEIRA, P. C. R. **Comunidade de macroinvertebrados bentônicos e qualidade da água e do sedimento das bacias hidrográficas dos Rios Lavapés, Capivara, Araquá e Pardo, município de Botucatu (SP) e região**. 2009. 202 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas/Zoologia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

OLIVEIRA, F. G. **Diagnóstico da expansão da cultura canvieira e dos conflitos ambientais de uso do solo no município de Barra Bonita/SP**. 2009. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 9-15, 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração universal dos direitos da água**. 1992. Disponível em: <<http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua.html>> Acesso em: 26 set. 2012.

PEREIRA, V. R. **Identificação de áreas com potencial para a produção de sedimentos a montante dos reservatórios do Sistema de Abastecimento Cantareira: os reservatórios de Cachoeira e Atibainha**. 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PETERSEN, G. W. et al. Geographic informations systems in agronomy. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 55, p. 67-111, 1995.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra no município de Botucatu – SP**. 2002. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

QUATTROCHI, D. A.; PELLETIER, R. E. Remote sensing for analysis of landscapes. In: TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. **Quantitative methods in landscape ecology: ecological studies**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. v. 82. p.51-76.

QUINN, P. F.; BEVEN, K. J.; LAMB, R. The $\ln(\alpha/\tan\beta)$ index: how to calculate it and how to use it in the TOPMODEL framework. **Hydrological Processes**, Bristol, v. 9, p. 161-182, 1995.

- QUINN, P. F. et. al. The prediction of hillslope flowpaths for distributed modelling using digital terrain models. **Hydrological Processes**, Bristol, v. 5, p. 59-80, 1991.
- RAMOS, V. M. et al. Avaliação de metodologias de determinação do cálculo de áreas de contribuição. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, n. 2, p. 41-49, 2003.
- RICHERSON, P. J.; LUM, K. Patterns of plant species diversity in California: relation to weather and topography. **American Naturalist**, Chicago, v. 116, n. 4, p. 504-536, 1980.
- ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. **Geoprocessamento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: Mecanização e Agricultura de Precisão, UFLA/SBEA, 1998. p. 1-30.
- RODRIGUES, M. **Introdução ao geoprocessamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1., 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1990, v.1, p. 1-26.
- SABINS, F. F. **Remote sensing: principles and interpretations**. 3. ed. New York: W. H. Freeman, 3. ed. 2000. 188 p.
- SANTOS, I. **Modelagem geobiohidrológica como ferramenta no planejamento ambiental: estudo da bacia hidrográfica do Rio Pequeno**, São José dos Pinhais – PR. 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado em ciências do solo)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 2004. 184 p.
- SÃO PAULO. **Legislação sobre recursos hídricos**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1994. 72 p.
- SILVA, R. F. B. **Planejamento do uso do solo em uma bacia hidrográfica para conservação dos recursos hídricos**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.
- SILVA, A. N. R. et. al. **SIG uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes**. São Carlos: Ed. dos Autores, 2004. 227 p.
- SINGH, V. P.; FREVERT, D. K. 2002. **Mathematical models of large watershed hydrology**. Water Resources Publication, Oregon, 2002. 891 p.
- SORENSEN, R.; ZINKO, U.; SEIBERT, J. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, Delft, v. 2, p. 1807-1834, 2005.

SOUSA, C. J. S.; SILVA, M. M.; COSTA, K. S. P. **Análise do modelo numérico de terreno do radar SRTM na Área da Folha SA. 23-Z-D-I, Urbano Santos – MA.** Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/020.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2012.

TARBOTON, D. G. **Terrain analysis using digital elevation models (TauDEM).** Disponível em: <www.engineering.usu.edu/dtarb>. Acesso em: 08 jul. 2002.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informação geográfica.** Rio Claro: Ed. do Autor, 1992. 80 p.

TSUKAMOTO, Y. Storm discharge from an experimental watershed. **Journal of the Japanese Forestry Society**, Tokio, v. 45, p. 186-190, 1963.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1998. 669 p.

WARD, A. D.; ELLIOT, W. J. **Environmental hidrology.** Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. 462 p.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. **Terrain analysis: principles and applications.** New York: John Wiley, 2000. 478 p.

XAVIER, M. C. R. **Estudo da distribuição espacial de vazões na gestão dos recursos hídricos.** 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)-Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ZAKIA, M. J. B. **Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas.** 1998. 99 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental)-Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ZINKO, U. et al. Plant species numbers predicted by a topography based groundwater flow index, **Ecosystems**, Verona, v. 8, p. 430-441, 2005.